

FAKULTA PŘÍRODOVĚDNĚ-HUMANITNÍ A PEDAGOGICKÁ

Katedra: Fyziky

Studijní program: Specializace v pedagogice

**Studijní obor
(kombinace):** Fyzika se zaměřením na vzdělávání, Matematika se
zaměřením na vzdělávání (Fy-Ma)

Voda

Water

Bakalářská práce: 09–FP–KFY– 002

Autor:

Zdeňka Horáková

Podpis:

Adresa:

Libkovice pod Řípem 185

413 01

Vedoucí práce: Mgr. Milan Čmelík.

Konzultant: Doc. RNDr. Antonín Kopal, CSc.

Počet

stran	grafů	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
57	0	35	8	26	0

V Liberci dne: 14.4.2010

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA PŘÍRODOVĚDNĚ-HUMANITNÍ A PEDAGOGICKÁ

Katedra fyziky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(pro bakalářský studijní program)

pro (kandidát): Zdeňka Horáková
adresa: Libkovice pod Řípem 185; 41301
studijní obor (kombinace): Specializace v pedagogice (Ma-Fy)
Název BP: **Voda**
Název BP v angličtině: **Water**
Vedoucí práce: Mgr. Milan Čmelík
Konzultant: Doc. RNDr. Antonín Kopal, CSc.
Termín odevzdání: květen 2010

Poznámka: Podmínky pro zadání práce jsou k nahlédnutí na katedrách. Katedry rovněž formulují podrobnosti zadání. Zásady pro zpracování BP jsou k dispozici ve dvou verzích (stručné, resp. metodické pokyny) na katedrách a na Děkanátě Fakulty přírodovědně-humanitní a pedagogické TU v Liberci.

V Liberci dne - 7 -05- 2009



děkan



vedoucí katedry

Převzal (kandidát): HORÁKOVÁ ZDEŇKA

Datum: 26.5.2009

Podpis: Horáková

Název BP:	VODA
Vedoucí práce:	Mgr. Milan Čmelík
Cíl:	Základní fyzikální vlastnosti vody. Odlišnosti a zvláštnosti fyzikálně chemických vlastností vody, jako prostředí pro život.
Požadavky:	Teoretické a praktické znalosti z oblasti mechaniky tekutin. Zpracování fyzikálních měření s využitím výpočetní techniky.
Metody:	Rešerše literatury, příprava experimentu. Zpracování naměřených hodnot s využitím výpočetní techniky.
Literatura:	<p>HALLIDAY,D.,RESNICK,R.,WALKER,J. Fyzika část 2. .1.vydání. Brno: Vitium, 2000. ISBN 80-214-1868-0</p> <p>HORÁK,Z.,KRUPKA,F.,ŠINDELÁŘ,V. Technická fyzika. 2.vydání. Praha: SNTL,1960.</p> <p>ILKOVIČ,D. Fyzika pre študujúcich na vysokých školách technických. 2.vydání. Praha: SNTL, 1959.</p> <p>SLAVÍK,J.B. Základy fyziky 1.1.vydání. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1961.</p>

Voda

Resumé

Bakalářská práce se zabývá vodou, jejími fyzikálně chemickými vlastnostmi, experimenty znázorňujícími tyto vlastnosti a vodou obecně v našem životě.

Je velmi důležité uvědomit si význam vody. Voda je totiž velmi zvláštní sloučenina, které se žádná jiná látka nemůže rovnat. Výjimečnost vody je dána především jejími fyzikálně chemickými vlastnostmi, díky nimž je voda v našem životě nepostradatelná. VODA je základem biologického vývoje, je nezbytná pro rozvoj vitálních funkcí každého živého tvora. Rostliny obsahují 20-80 % vody. U dospělého jedince voda tvoří průměrně 60% hmotnosti těla (tj. 45 kg u osoby vážící 75 kg) a jeho denní potřeba, při odpočinku, vychází na 30 – 40 ml/kg hmotnosti těla. Je známo, že žízeň se snáší hůře než hlad. VODA je pramen života a má významný vliv na zdraví organismu. VODA je základním komponentem všech našich buněk, také představuje základní látku pro 95% všech procesů v našem metabolismu. VODA jako taková je hlavní, klíčový element života.

Klíčová slova: anomálie vody, měrná tepelná kapacita, molekula vody, povrchové napětí, skupenské teplo, tepelné proudění, voda, voda a život, voda na Zemi.

Eau

Resumé

La thèse traite de l'eau, ses propriétés physiques et chimiques, des expériences montrant les propriétés de l'eau et généralement dans nos vies.

Il est très important de reconnaître l'importance de l'eau. L'eau est un composé très spécial, qui, aucune autre substance ne peut égaler. L'unicité de l'eau est déterminée principalement par ses propriétés physiques et chimiques qui rendent l'eau indispensable dans nos vies. L'eau est la base de l'évolution biologique, est essentielle pour le développement des fonctions vitales de toute créature vivante. Les plantes contiennent 20-80% d'eau. L'eau des adultes sont en moyenne 60% du poids corporel (soit 45 kg pour une personne pesant 75 kg) et a un besoin quotidien pour se reposer, basé sur 30 à 40 ml / kg de poids corporel. Il est connu que la soif est pire que de tolérer la faim. L'eau est la source de la vie et a un impact significatif sur la santé de l'organisme. L'eau est une composante essentielle de nos cellules, également une substance essentielle pour 95% de tous les processus de notre métabolisme. L'eau en tant que telle est un important, un élément clé de la vie.

Mots-clés: anomalies de l'eau, la capacité de la chaleur, les molécules d'eau, la tension de surface, la chaleur latente, le flux de chaleur, l'eau, l'eau et de la vie, de l'eau sur Terre.

Water

Resumé

This thesis deals with water, its physical and chemical properties, experiments are showing properties of water and water generally in our lives.

It is very important to recognize the importance of water. Water is a very special compound, which no other substance can equal. The uniqueness of water is determined primarily by its physical and chemical properties that make water indispensable in our lives. Water is the basis of biological evolution, is essential for the development of vital functions of every living creature. Plants contain 20-80% water. The adult human is on the average of 60% of body weight created by water (it's 45 kg for a person weighing 75 kg) and has a daily need for rest, based on 30 to 40 ml / kg body weight. It is known that thirst is worse than tolerate hunger. Water is the source of life and has a significant impact on the health of the organism. Water is an essential component of our cells, also an essential substance for 95% of all processes in our metabolism. Water as such is a major, a key element of life.

Keywords: anomaly of water, specific heat capacity, water molecules, surface tension, latent heat, heat flow, water, water and life, water on Earth.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne: 14. 4. 2010

Horáková Zdeňka

.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomáhali při vypracování mé bakalářské práce. Na prvním místě patří mé díky vedoucímu bakalářské práce, Mgr. Milanu Čmelíkovi, jemuž děkuji za trpělivost, ochotu a všestrannou pomoc. Také děkuji Doc. RNDr. Antonínu Kopalovi, za pomoc s hledáním vhodných materiálů. Dále děkuji své rodině, partnerovi a přátelům, kteří mi byli oporou.

Obsah

1. ÚVOD	8
2. FYZIKÁLNĚ CHEMICKÉ VLASTNOSTI VODY	10
2.1. Molekula vody a její specifika	10
2.2. Změna objemu a hustoty vody spojená se změnou její teploty (anomálie vody)	14
2.3. Skupenské teplo vody	15
2.4. Měrná tepelná kapacita vody (specifické teplo)	17
2.5. Povrchové jevy kapaliny	18
2.5.1. Povrchová vrstva kapaliny	18
2.5.2. Povrchová síla	20
2.5.3. Povrchové napětí	21
2.6. Tepelné proudění	23
2.7. Voda v podobě sněhové vločky	24
2.8. Mpembův efekt	25
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
3.1. Měření povrchového napětí	28
3.2. Povrchové napětí ve školních pokusech	38
3.3. Experiment znázorňující změnu objemu a hustoty vody v závislosti na změně teploty vody	40
3.3. Experiment znázorňující tepelné proudění vody	43
4. VODA KOLEM NÁS	44
4.1. Výskyt vody na Zemi	44
4.1.1. Přírodní vody	44
4.1.2. Pitná, užitková a provozní voda	46
4.1.3. Odpadní vody	48
4.2. Voda na Zemi	48
4.2.1. Člověk a vodní zdroje	49
4.3. Léčebné účinky vody	50
4.3.1. Priessnitzův obklad	51
4.3.2. Působení ledové vody na organismus	51

5. ZÁVĚR	53
6. POUŽITÁ LITERATURA	55

1. Úvod

Modrá planeta, tak se často říká Zemi pro její vesmírný modrobílý vzhled. Ale co je příčinou toho, že je naše Země takto zbarvená? Je to voda, ať už v kapalném nebo plynném podobě, která pokrývá více jak 70% zemského povrchu v kapalném stavu a další miliardy tun vody v plynném stavu se nacházejí v ovzduší. Ano, je to ta průzračná tekutina, která se nám, smrtelníkům, zdá tak obyčejná, ale také ta, bez které by život na Zemi pravděpodobně nikdy nevznikl.

Jedním z důvodů proč je voda tak zajímavá, jsou její výjimečné fyzikálně chemické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti můžeme řadit její velké povrchové napětí, mimořádnou teplotní vodivost a nelze ani zapomenout na zvláštnost ve změně objemu spojené se změnou skupenství. Ačkoliv si to člověk ani neuvědomuje, voda je všude kolem nás. Je součástí našeho každodenního života a život bez ní si snad ani nelze představit.

Pro uvědomění si významu vody zde uvedeme jednoduchý příklad toho, jak se běžně a často setkáváme s vodou v mnoha podobách. Příklad je ze zimního období. Venku fouká, padá sníh, a zde se prvně setkáváme s jistou formou vody, sněhem. Přijdeme domů, kde pěkně hřeje topení a co způsobuje, že je radiátor teplý? Ano, opět voda, která proudí uvnitř radiátoru. Člověk si v takovém chmurném počasí často rád dá horkou sprchu či lázeň a ouha, zase k tomu potřebuje vodu. Čaj bez vody také neuvaříte, a jídlo, které by neobsahovalo vodu, v mikrovlnné troubě také neohřejete. Na bolest v krku použijete Priessnitzův obklad a ani ten bez vody neuděláte. Zde je vidět, že za krátký časový úsek se s vodou setkáme tak často, že už ji ani nebereme jako něco výjimečného, ale spíš jako něco běžného.

Voda však není ničím obyčejným, voda je pro život něčím nepostradatelným, něco bez čeho žít nejde. Názor, že voda je běžná a plně dostupná, je pouze pohled části lidstva. Na Zemi jsou i oblasti, kde by tamním obyvatelům tento přístup připadal velmi nepochopitelný. Vody totiž není dost, jak se mnozí domnívají. Neboť již dnes žije na naší planetě 1,1 miliardy lidí, kteří nemají zajištěný přímý přístup k nezávadné pitné vodě, z čehož 2 miliony ročně v důsledku toho zemře. Tento počet však není konečný, neboť stále častěji dochází ke znečišťování povrchových a podzemních vod a také k neustálému zvyšování spotřeby vody. Lidí na Zemi totiž přibývá, tudíž i k uspokojení

základní potřeby pít potřebuje lidstvo stále větší množství pitné vody a to nebereme v potaz další oblasti, kde je voda také nezbytná, jako je např. lékařství, průmysl apod.

Doposud jsme poukazovali pouze na vodu, která nás obklopuje, ale nesmíme zapomenout na vodu, která je naší součástí, kterou obsahuje naše tělo. Vždyť tělo kojence obsahuje 80% vody, tělo dospělého člověka pak přibližně 70% a ve stáří je naše tělo tvořeno 50% vody. Voda má v našem těle takové důležité funkce jako je například úprava tělesné teploty, odvádění odpadních látek, hydrataci buněk, podporuje zásobování buněk kyslíkem apod. Má v našem těle ještě spoustu dalších funkcí, ovšem už jen těch pár uvedených stačí k tomu, abychom mohli tvrdit to, co si opět většina populace neuvědomuje: Naše tělo nemůže bez vody fungovat!

Zatím jsme však jen poukazovali na význam vody pro člověka, ale voda neovlivňuje jen naše životy, ale i životy živočichů a rostlin. Díky anomálii vody například přežijí vodní živočichové i kruté zimy, díky povrchovému napětí se někteří drobní živočichové mohou pohybovat po vodní hladině. Naopak zase v důsledku znečištěného ovzduší dopadá na zem znečištěná voda, která kapilárním vzestupem v rostlinách nevystoupá tak vysoko, a tak dochází často k uvadnutí apod.

Bez vody to nejde, ale v poslední době se často stává, že ani s ní to není jednoduché. Tím máme teď na mysli různé povodně v posledních letech či stoupání vodních hladin v důsledku tání ledovců. Voda je zvláštní součást naší planety, kterou se stojí zato zabývat, a proto jí je věnována tato bakalářská práce.

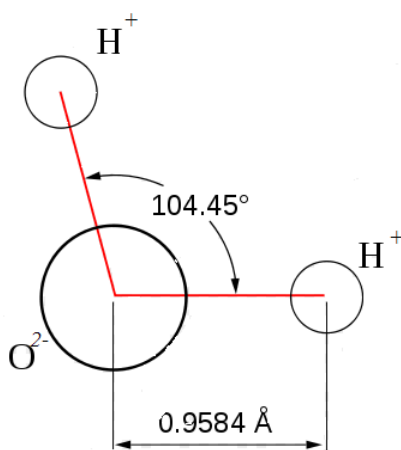
2. Fyzikálně chemické vlastnosti vody

2.1. Molekula vody a její specifika

Ještě před dvěma sty lety byla voda pokládána za jednoduchou, jednotnou látku. V roce 1766 H. Cavendish popsal vodík a v roce 1774 J. Priestley úspěšně izoloval v čisté formě kyslík. První vědecké objasnění fyzikálně chemické podstaty vody bylo provedeno v roce 1783. [14]

Dnes již víme, že voda je sloučenina se složitými fyzikálně chemickými vlastnostmi, které mají velký vliv na její chování při kontaktu s jinými látkami. Molekula vody se skládá ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku, přesněji bychom měli říct ze dvou jednomocných iontů vodíku a jednoho dvojmocného iontu kyslíku. Tedy chemický vzorec vody je H_2O . [1]

Molekula vody je polární, má charakter dipólu. Dipól je těleso se dvěma póly, nesoucími náboj atomu opačné hodnoty. Ionty vodíku a kyslíku v molekule vody jsou rozmístěny ve vrcholech rovnoramenného trojúhelníku, přičemž úhel u vrcholu trojúhelníku, obsazený iontem kyslíku, má $104,45^\circ$ a přilehlé strany tj. vzdálenost mezi ionty H^+ a ionty O^{2-} jsou rovny $0,09584 \text{ nm}$. Molekula vody má tedy na jednom konci záporný náboj (iont O^{2-} ve vrcholu trojúhelníku) a na druhém konci kladný náboj (tvořený ionty H^+ v základně trojúhelníka). [9]

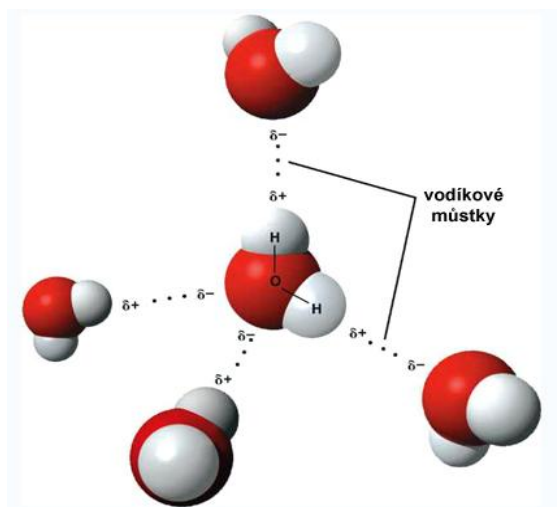


Obrázek 1- Struktura molekuly vody [20]¹

¹ $1 \text{ \AA (Angström)} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$

„Jednotlivé molekuly vody v kapalném a tuhém stavu jsou poutány silami, které nejsou zcela obvyklé a do jisté míry jsou příčinou jedinečných fyzikálních i chemických vlastností vody (anomalie vody)“. [18]

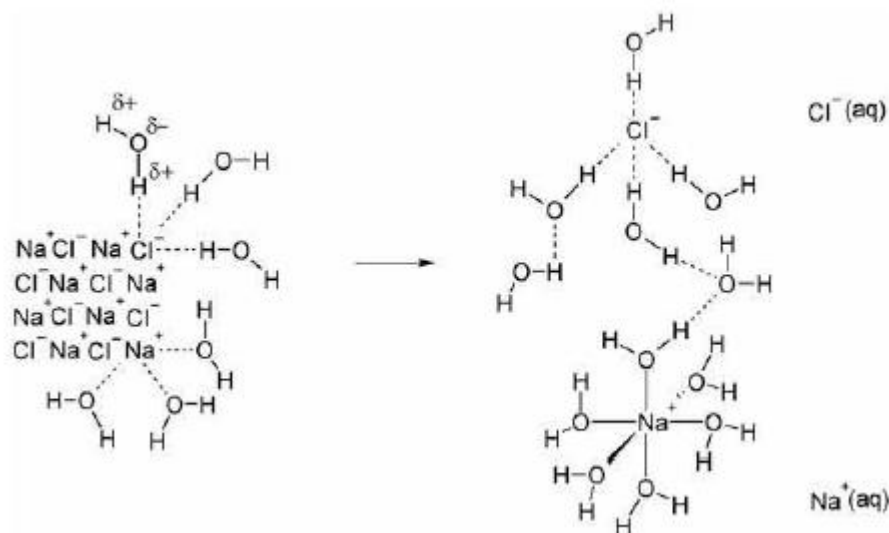
Atom vodíku má kladný náboj a je spojen s atomem kyslíku polární kovalentní vazbou. Na druhé straně však může být současně přitahován záporně nabitou částí jiné molekuly. Mezi vodíkem a jinou molekulou pak vzniká vodíková vazba, někdy označovaná jako vodíkové můstky. Vodíkové vazby jsou mnohem méně pevné než kovalentní vazby mezi ionty vodíku a kyslíku. Jelikož je molekula vody polární molekula s pozitivním a negativním koncem, vznikají mezi jednotlivými molekulami vody právě vodíkové vazby. Molekuly vody jsou tedy v tekuté vodě propojeny v rozsáhlé shluky. Vodíkové vazby mezi molekulami vody jsou vysvětlením některých teplotních vlastností vody. [16]



Obrázek 2- Vodíkové můstky mezi molekulami vody [3]

Voda se vyskytuje v kapalném stavu v poměrně velkém intervalu teplot, což je způsobeno tím, že tepelná energie, kterou dodáme vodě, musí nejprve přerušit vodíkové vazby mezi jednotlivými molekulami. Teprve poté může zvyšovat rychlost pohybu jednotlivých molekul, tedy zvyšovat teplotu vody. Schopnost vody odolávat zahřívání je důležitá pro živé organismy, protože pomáhá udržovat relativně stabilní prostředí, které potřebují. Oceány, velká jezera a řeky mění svou teplotu jen pomalu, takže se vodní organismy nemusí potýkat s rychlými změnami svého životního prostředí. Skutečnost, že i samotné organismy jsou z 50-90% tvořeny vodou, znamená, že se teplota jejich těl, zejména u velkých druhů, také mění pomalu. [16]

Dipólové rozložení molekul vody, je také důvodem, proč je voda tak vynikajícím rozpouštědlem iontových sloučenin a polárních molekul. Při rozpouštění iontových sloučenin ve vodě se vlivem elektrického dipólu vody vytrhávají z krystalové struktury (mřížky) ionty, které se okamžitě obklopují opačně nabitými konci molekuly vody. Tento děj, který není ničím jiným než interakce mezi iontem a dipólem, se nazývá hydratace [8].



Obrázek 3- Roztok NaCl a znázorněná hydratace iontů NaCl [8].

Voda je amfiprotní rozpouštědlo, to znamená, že může reagovat s kladným i záporným iontem. Čistá voda vede elektrický proud, z čehož vyplývá, že ve vodě a jiných silně polárních rozpouštědlech dochází k ionizaci (děj, při kterém se z neutrálního atomu nebo molekuly stává iont). Část molekul vody se chová jako zásada a část jako kyselina, tento jev bývá označován jako disociace vody. Disociaci vody můžeme vidět v následující rovnici:



kde H_3O^+ se chová jako kyselina a OH^- jako zásada.[25]

Rovnovážná konstanta K_a charakterizuje složení reakční směsi po dosažení chemické rovnováhy:

$$K_a = \frac{a_{H_3O^+} \cdot a_{OH^-}}{(a_{H_2O})^2}$$

,

a udává aktivitu daných iontů². [25]

Disociace vody je velmi malá, a proto lze aktivitu molekul vody považovat za konstantní a je možno definovat novou konstantu $K_V = K_a(a_{H_2O})^2$, která se nazývá **iontový součin** (produkt) **vody**. [25]

$$K_V = a_{H_3O^+} \cdot a_{OH^-}$$

Pro ideálně chovající se roztoky lze nahradit aktivitu a koncentrací:

$$K_V = [H_3O^+][OH^-]$$

Tato konstanta je závislá na teplotě a při 25°C odpovídá hodnotě $K_V = 1,02 \cdot 10^{-14}$.

Koncentrace hydroxoniových iontů určuje kyselost vodních roztoků (pH).³[25]

V čisté vodě, kde při teplotě 25°C $[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ platí:

$$pH = -\log [H_3O^+] = 7$$

Vodu a vodné roztoky, pro které platí výše uvedený vztah, označujeme jako neutrální, roztoky s $pH < 7$ nazýváme kyselé a roztoky s $pH > 7$ označujeme jako zásadité.[25]

² **Aktivita**= veličina popisující míru vzájemného působení roztoku s okolním prostředím.

³ **Hydroxoniový iont**= označení pro iont H_3O^+ , který vznikne navázáním iontu H^+ na molekulu vody pomocí koordinačně-kovalentní vazby, **koordinačně kovalentní vazba**=jeden z vazebných atomů poskytuje volný elektronový pár, druhý vazebný partner poskytnutými elektrony zaplní své volné orbitály, vlastnosti má jako kovalentní vazba liší se pouze svým vznikem

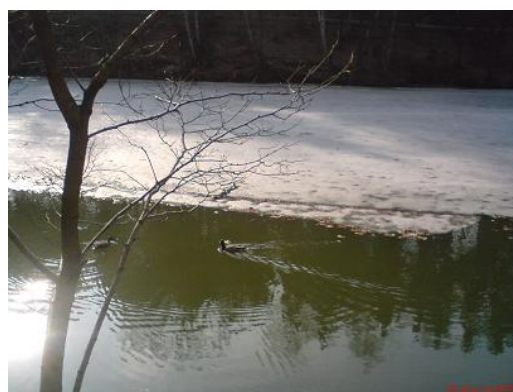
2.2. Změna objemu a hustoty vody spojená se změnou její teploty (anomalie vody)

Objemová roztažnost vody je z hlediska existence života na Zemi velmi důležitou vlastností. Budeme-li zahřívat vodu z teploty 0°C k teplotě $3,98^{\circ}\text{C}$ (často se udává zaokrouhlená teplota 4°C) bude voda svůj objem zmenšovat a hustotu zvyšovat. Naopak po překročení této teploty se bude objem zvětšovat a hustota snižovat. Tato vlastnost je velmi důležitá pro existenci života ve vodě, neboť díky ní vodní plochy nezamrzají úplně a život v nich může přetrvávat. [9]

Při ochlazování vody k teplotě 0°C totiž ke dnu klesá voda s vyšší hustotou, tedy teplejší voda o teplotě $3,98^{\circ}\text{C}$. Proto se na povrch vodní plochy přesouvá chladnější voda. Chladnější voda na hladině zamrzne jako první a kapalná voda se hromadí na dně. Na povrchu se vytvoří jakýsi příkrov, díky němuž může vydržet život pod vodní hladinou i v zimě. Tato vlastnost je však také jednou z hlavních příčin zvyšování vodních hladin při globálním oteplování. Tuto vlastnost vody lze znázornit na jednoduchém pokusu popsaném v kapitole 3.3. [9]



Obrázek 4- Kokořín 2009



Obrázek 5- Jarní přehrada (Liberec 2010)



Obrázek 6 - Pískovna v zimě
(Adršpašsko-teplické skály)



Obrázek 7- Pískovna léto
(Adršpašsko-teplické skály)

2.3. Skupenské teplo vody

Skupenství rozeznáváme pevné, plynné a kapalné. V pevném skupenství jsou molekuly uspořádány v krystalické mřížce, potenciální energie molekul je mnohem větší než kinetická. Pevné skupenství vody je led. V kapalném skupenství se zachovává objem kapaliny, ale její tvar je proměnný. Molekuly se pohybují ve vrstvách tím, že se po sobě smýkají, ale nemohou se od sebe odpoutat (potenciální energie je o trochu větší než kinetická). V plynném skupenství je kinetická energie větší než potenciální, a proto se částice volně pohybují prostorem až do doby, než se srazí s jinou molekulou. Nemají stálý tvar ani objem. [7]

Změna skupenství je fyzikální děj, při kterém se mění skupenství látky. Skupenské teplo je teplo, které přijme těleso již zahřáté na teplotu, ve které probíhá změna skupenství, aby při této teplotě změnilo svou skupenskou fázi. Rozlišujeme skupenská tepla – tání, tuhnutí, sublimace, vypařování, varu a kondenzace. [7]

Skupenské teplo tání

Pokud zahříváme těleso z pevné látky, bude zvyšovat svou teplotu do teploty tání t_t . Poté se teplota přestane zvyšovat a dojde k přeměně pevné látky na látku kapalnou o stejné teplotě. Při tání přijímá pevná látka teplo, čímž se zvyšuje kinetická energie molekul. Teplo, které látka přijímá během tání, se nazývá skupenské teplo tání L_t . Skupenské teplo vztažené na jeden kilogram se nazývá měrné skupenské teplo tání l_t . Led (o teplotě 0°C) jakožto pevná látka tvořená z vody má poměrně velké měrné skupenské teplo tání. Konkrétně pro led je $l_t = 333,7 \text{ kJ/kg}$. Toto velké měrné skupenské teplo má pro život na Zemi velký význam. Díky němu led a sníh taje na jaře pomaleji. Většinou se tak podstatná část uvolněné vody stačí vsáknout do země či vypařit. Minimalizují se tak negativní projevy, jako jsou například záplavy. [23]

Skupenské teplo tuhnutí

Při ochlazování kapaliny, dochází při teplotě tuhnutí k přeměně v pevnou látku téže teploty. Teplota tuhnutí je rovna teplotě tání. Teplo, které kapalina při tuhnutí předá svému okolí, se nazývá skupenské teplo tuhnutí L_t . Pokud je L_t vztažené na jeden kilogram, pak se nazývá měrné skupenské teplo tuhnutí l_t . Skupenská tepla tání a tuhnutí jsou si rovna a stejně tak i měrná skupenská tepla tání a tuhnutí si jsou rovna. Měrné skupenské teplo tuhnutí vody je $332,4 \text{ kJ/kg}$. [26]

Skupenské teplo sublimace

Sublimace je přeměna pevné látky přímo ve skupenství plynné a desublimace je přeměna látky ze skupenství plynného na skupenství pevné. Teplo, které musíme dodat pevné látce, aby začala sublimace, se nazývá skupenské teplo sublimace L_s , vztažené na jeden kilogram pak měrné skupenské teplo sublimace l_s . Při teplotách pod bodem mrazu sublimuje i led a sníh. Sublimaci sněhu můžeme pozorovat na zasněžené stráni, když mrzne a svítí na ni slunce. Sníh netaje, ale časem ze stráně mizí – sublimuje. Také prádlo uschne i za mrazu, ale rozhodně pomaleji než za vyšších teplot. [21]

Skupenské teplo vypařování

Přechod látky ze skupenství kapalného do skupenství plynného nazýváme vypařování. K vypařování dochází při libovolné teplotě kapaliny a to z jejího volného povrchu. Soubor molekul, které z kapaliny při vypařování vylétují, nazýváme pára. Aby mohly molekuly vylétnout z volného povrchu kapaliny, musí mít dostatečnou energii k překonání sil, které je poutají k ostatním molekulám kapaliny. Při vypařování tedy kapalinu opouští nejrychlejší molekuly (s největší energií), snižuje se střední kinetická energie připadající na jednu molekulu kapaliny a v důsledku toho dochází k poklesu teploty vypařující se kapaliny. Teplota vzniklé páry odpovídá snížené teplotě kapaliny. Molekuly totiž při vylétování z kapaliny konají práci proti přitažlivým silám, čímž strácí přebytečnou kinetickou energii. Naopak svou vnitřní potenciální energii zvětšují. Skupenské teplo vypařování L_v je pak teplo potřebné k přeměně kapaliny o hmotnosti m na páru téže teploty. Skupenské teplo vypařování vztažené na jeden kilogram se nazývá měrné skupenské teplo vypařování l_v s hlavní jednotkou J/kg. Pro vodu o teplotě 0°C je $l_v=2,51\text{MJ/kg}$ ovšem pro vodu o teplotě 100°C je to $l_v=2,26\text{ MJ/kg}$ (za tlaku $0,1\text{Mpa}$). Měřením bylo dokázáno, že l_v s rostoucí teplotou klesá. Voda má v porovnání s jinými kapalinami měrné skupenské teplo vypařování poměrně vysoké. Mnoho sluneční energie je díky tomu pohlceno vodními plochami při vypařování vody. Vzniká vlhký vzduch, který proudí k pólům a uvolňuje přijatou energii formou dešťů.

Skupenské teplo varu a kondenzace

Skupenské teplo varu L_v je teplo, které kapalina o teplotě varu přijme při změně z kapalné podoby na plyn. Jinak bychom mohli říci, že skupenské teplo varu se rovná skupenskému teplu vypařování při teplotě varu kapaliny. Pro stejnou látku se rovná skupenské teplo varu

skupenskému teplu kondenzace. L_v vztažené na jeden kilogram se nazývá měrné skupenské teplo varu l_v . Měrné skupenské teplo varu je pro vodu rovno 2257 kJ/kg. [7]

Látka	l_v (kJ/kg)	l_t (kJ/kg)
Aceton	523	96
Benzen	396	127
Ethanol	879	105
Glycerol	-	200
Chloroform	247	80
Kyselina dusičná	481	40
Kyselina octová	406	194
Kyselina sírová	-	109
Methanol	1101	100
Olej terpentýnový	293	-
Rtuť	301	11,7
Toluen	356	72
Voda	2257	332,4

Tabulka 1- Měrné skupenské teplo tání a varu vybraných kapalin [11]

2.4. Měrná tepelná kapacita vody (specifické teplo)

Obecně je měrná tepelná kapacita dané látky rovna množství tepla, které musí být dodáno jednomu kilogramu látky, aby došlo ke změně teploty o 1K. Měrnou tepelnou kapacitu značíme c , její jednotkou je J/(kgK) a lze ji vypočíst ze vztahu:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}, \text{ kde}$$

C - tepelná kapacita, Q - teplo dodané tělesu, m - hmotnost tělesa, Δt - rozdíl počáteční a koncové teploty tělesa. [23]

Jednotky: $[C]=J/K$, $[Q]=J$, $[m]=kg$, $[\Delta t]=K$

Měrná tepelná kapacita je závislá na teplotě, a proto se v tabulkách udává spolu s teplotou, které udávaná hodnota c odpovídá. Z toho vyplývá, že měrná tepelná kapacita má různé hodnoty pro různé látky a různá skupenství.

Z běžných látek má největší měrnou tepelnou kapacitu c právě voda a to 4186 J/(kgK) při teplotě 20°C. Díky této vlastnosti absorbovat či uvolnit velké množství tepla voda výrazně ovlivňuje klima naší planety například tím, že zpomaluje teplotní změny v okolí vodních biotopů (živé či neživé prostředí, soubor všech vlivů, které vytvářejí životní prostředí všech zde žijících organismů) nebo se používá jako chladicí kapalina, či kapalina využívaná k přenosu tepla, například v ústředních topeních apod. Voda na Zemi udržuje výkyvy teplot v intervalu slučitelném s životem. [7]

Látka	c_{20} (kJ/(kgK))
Aceton	2,16
Benzín	2,09
Benzen	1,74
Ethanol	2,47
Glycerol	2,43
Chloroform	0,97
Kyselina sírová	1,38
Methanol	2,47
Olej terpentýnový	1,8
Petrolej	2,14
Rtuť	0,14
Toluen	1,68
Voda	4,18

Tabulka 2- Měrná tepelná kapacita kapalin při teplotě 20°C [11]

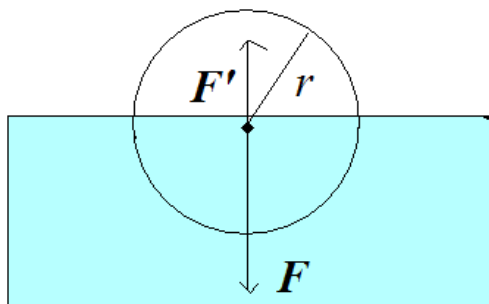
2.5. Povrchové jevy kapaliny

Molekuly podle jejich umístění v objemu kapaliny dělíme na ty, co jsou uvnitř kapaliny, to znamená, mají kolem sebe téměř identické molekuly a reagují mezi sebou pomocí kohézních sil (síly mezi stejnými molekulami) a ty, co jsou na povrchu, to znamená, přicházejí do kontaktu i s odlišnými molekulami, se kterými reagují pomocí adhézních sil (síly mezi odlišnými molekulami). [7]

2.5.1. Povrchová vrstva kapaliny

Molekuly kapaliny v blízkosti jejího volného povrchu na sebe vzájemně působí rozdílnou přitažlivostí. Kolem molekuly kapaliny uvažujeme sféru vzájemného molekulového působení – znázorňujeme ji jako kouli o poloměru r (obrázek č. 8). Pak můžeme zavést pojem povrchová vrstva kapaliny, což je vrstva molekul, jejichž vzdálenost od volného

povrchu kapalin je menší než r (poloměr sféry molekulového působení). Na každou molekulu v povrchové vrstvě kapaliny působí sousední molekuly výslednou přitažlivou silou směrem dovnitř kapaliny. [23]



Obrázek 8- Znáznornění vzájemného působení molekul, F - výslednice přitažlivých sil, kterými působí molekuly vody na molekulu ve středu kulové sféry, F' - výsledná přitažlivá síla, kterou molekuly plynů vzduchu a páry kapaliny v horní části sfér působí na uvažovanou molekulu.

Molekuly v povrchové vrstvě kapaliny mají větší potenciální energii než molekuly uvnitř kapaliny. To je následkem toho, že při přesunu molekul z vnitřku kapaliny do povrchové vrstvy je nutné vykonat práci k překonání síly působící dovnitř kapaliny. Povrchové vrstvě tudíž přiřazujeme energii, která se nazývá **povrchová energie**. Je jednou ze složek vnitřní energie kapaliny. Tato energie je v rovnovážném stavu minimální. [23]

Kapalina má tendenci zaujmout takový tvar, aby byl její povrch, co nejmenší tzn. tvar energeticky nejvýhodnější. Proto najdeme například vodu v přírodě jako kapku rosy, mlhy apod. v podobě kulovitého tvaru. U větších kapek nastává deformace kapky tíhovou silou. Kulový tvar lze vysvětlit tím, že povrchová vrstva vytváří pružnou blánu, která se snaží smrštít se na plochu s co nejmenším obsahem. Tato pružná blána pak unese i lehčí předměty, jako jsou jehly, kancelářské sponky či umožňuje například vodoměrkám snadnější pohyb po vodní hladině. [23]

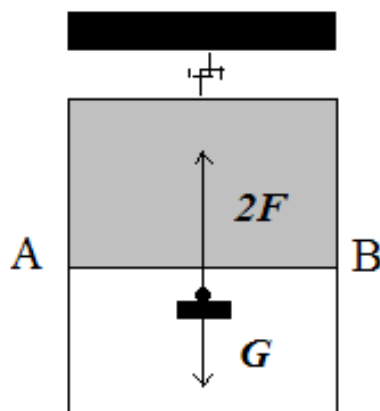
2.5.2. Povrchová síla

Pro lepší pochopení se často předvádí povrchová síla pomocí experimentu, kdy do mýdlového roztoku ponoříme drátěný rámeček s pohyblivou příčkou AB (obrázek č. 9), po vynoření na něm můžeme pozorovat tenkou kapalinovou blánu s dvěma povrchovými vrstvami (po obou stranách). Blána se po vynoření začne stahovat a táhnout za sebou i příčku AB. Na příčku AB totiž v každém povrchu (blána má dva povrchy) působí kolmá síla F . Tato síla se nazývá povrchová, neboť leží v povrchu kapaliny. Tato síla je přímo úměrná délce příčky. [23]

Velikost F se dá určit experimentálně. Rámeček s blánou, dáme do svislé polohy tak, aby příčka AB byla umístěná co nejniž. Pak příčku AB zatížíme takovým závažím, aby byla celá soustava v rovnovážném stavu (systém se nemění, neboť protikladné síly působí stejnou mírou). Na příčku AB působí tíha závaží G a zároveň v každém povrchu ještě výsledná povrchová síla $2F$ (dva povrchy) svisle vzhůru. Jelikož je soustava v rovnovážném stavu, musí platit:

$2F - G = 0$ (takto lze zapsat rovnovážný stav, pokud zvolíme soustavu souřadnic tak, aby $2F$ směřovalo v kladném směru osy x)

$$2F = G \Rightarrow F = \frac{1}{2} G . [23]$$



Obrázek 9- Znázornění sil při měření povrchového napětí [23]

2.5.3. Povrchové napětí

Povrchové napětí obvykle značíme σ , jednotkou je N/m. Povrchové napětí závisí na dvojici látek, které jsou v kontaktu. Povrchové napětí se vypočte ze vztahu:

$$\sigma = \frac{dF}{dl},$$

což nám říká, že povrchové napětí σ lze vyjádřit jako podíl velikosti povrchové síly F a délky okraje povrchové blány značené l , na který povrchová síla působí. [23]

Povrchové napětí kapaliny klesá s rostoucí teplotou. Voda má velké povrchové napětí ($\sigma=72 \text{ mN/m}$ při $t=25^\circ\text{C}$ – pozor jednotka je milinewton na metr, m v čitateli nám pouze určuje násobek N, zatím co m ve jmenovateli označuje metr. Každé m označuje něco jiného proto je mezi sebou nelze zkrátit), což je příčinou kapilárních jevů (elevace, deprese viz 2.5.3.1). Snížení povrchového napětí způsobují povrchové aktivní látky, tzv. tenzidy. Ty jsou přirozeného nebo antropogenního původu (produkt průmyslové výroby) a zlepšují smáčivost kapaliny. Snižování povrchového napětí vody negativně ovlivňuje život organismů ve vodě, přestup kyslíku difúzí hladinou u povrchových vod a při aeraci vody. [13]⁴⁾

Povrchové napětí se dá použít pro rychlé měření znečištění odpadních vod a to odhadnutím množství tenzidů v odváděné vodě, což je úměrné povrchovému napětí. Znečištění vod nesmí lidstvo podceňovat, proto ve světě vznikají snahy o zvládnutí této problematiky, např. ve Švýcarsku je povrchové napětí vypouštěných odpadních vod limitováno hodnotou větší než 60 mN/m při teplotě 20°C. Cílem je však alespoň povrchové napětí $\sigma=65 \text{ mN/m}$, neboť při $\sigma=60 \text{ mN/m}$ stále ještě mluvíme o vodě kontaminované tenzidy, zatímco vody s povrchovým napětím kolem 70 mN/m již těchto povrchově aktivních látek obsahují minimum. [13]

⁴⁾ **Aerace vody**= provětrání vody, odstranění zapáchajících látek (například amoniaku NH_3 a sirovodíku H_2S), které mohou být ve vodě přítomny. Je to vlastně jakési „praní vody vzduchem“, kdy vzduch je vháněn zespoda a voda padá shora. Druhou důležitou funkcí aerace je oxidace železnatých kationtů Fe^{2+} na železitě kationty Fe^{3+} . Tento krok je velmi důležitý z hlediska rozpustnosti uvedených kationtů. Sloučeniny železnaté jsou ve vodě rozpustné a tudíž těžko odstranitelné, zatímco sloučeniny železitě jsou ve většině případů nerozpustné a při procesu aerace se ve vodě vysráží - „vyvločují“ a mohou být v další fázi odfiltrovány.

Látka	$\sigma_{20} (10^{-3} \text{ N/m})$
Aceton	23,3
Benzen	29,1
Ethanol	22
Glycerol	62,5
Chloroform	26,5
Kyselina octová	28
Methanol	22,7
Olej terpentýnový	27
Rtuť	491
Toluen	28,4
Voda	73

Tabulka 3- Povrchové napětí vybraných kapalin [11]

2.5.3.1 Kapilární jevy

Kapilára je úzká trubička (buďto přírodní například velmi jemné cévy nebo průduchy v půdě, v laboratořích se pak setkáváme s kapilárami skleněnými) s poloměrem kolem 1mm. Fyzikální jevy spojené s přítomností vody v kapiláře hrají velkou roli ve světě kolem nás. Kapilární jevy souvisejí s existencí povrchového napětí kapaliny.

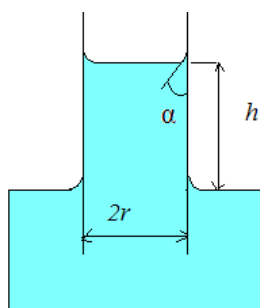
V kapiláře se kapalina zakřivuje a vytváří tvar podobný kulovému vrchlíku, ten může být vydutý neboli konkávní (obrázek 11.), či vypouklý neboli konvexní (obrázek č. 10). Úhel, který svírá povrch kapaliny v kapiláře s povrchem stěny, se nazývá smáčivý úhel α . Je-li $\alpha = 0$, pak kapalina dokonale smáčí stěnu, je-li $\alpha < 90^\circ$, dochází ke smáčení například voda + sklo, vzduch. Pro $\alpha > 90^\circ$ mluvíme o nesmáčivých látkách, mezi které patří např. rtuť. [23]

Po vnoření kapiláry do vody se v kapiláře vytvoří sloupec vody. Pokud se volná hladina kapaliny v kapiláře zvýší, mluvíme o tzv. kapilární elevaci, pokud se naopak sníží, mluvíme o kapilární depresi. Nazveme-li vzdálenost mezi volnou hladinou v kapiláře a volnou hladinou vně kapiláry h , pak můžeme pro výšku tohoto sloupce odvodit vztah:

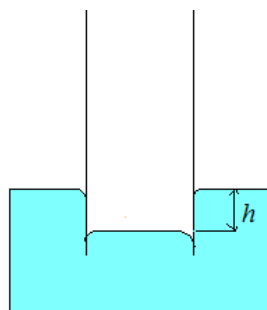
Tíha (sloupce v kapiláře o výšce h) = síle povrchového napětí

$$\rho \pi h g r^2 = \sigma \cdot 2 \pi r$$

$$\Rightarrow h = \frac{2\sigma}{\rho g r}, \text{ kde } r \text{ je poloměr kapiláry}$$



Obrázek 10- Kapilární elevace



Obrázek 11- Kapilární deprese

Kapilární jevy pozorujeme hlavně pro poloměr kapilární trubice $r \leq 1\text{mm}$. Tyto jevy probíhají např. ve vlasečnicích rostlin a stromů, ve filtračním papíře, v „pijáku“ apod. Jelikož znečištěné vody mají menší povrchové napětí σ , mají podle našeho vztahu i menší výšku h , do které voda vystoupá. Z toho plyne, že rostliny zalévané znečištěnou vodou uschnou, neboť voda v nich nevystoupá tak vysoko, jak by bylo třeba.

2.6. Tepelné proudění

Proudění tepla někdy též označované za konvekci tepla je jeden ze způsobů šíření tepla. Dalším způsobem šíření tepla je šíření vedením (=kondukce, šíření tepelné energie v nepohyblivé hmotě) a šíření tepelným zářením (= sálání, vyzařování energie ze zdroje ve formě elektromagnetických vln, které jsou následně pohlcovány ozařovaným tělesem). Proudění tepla probíhá pouze v kapalinách a plynech, u pevných látek mluvíme o tepelném vedení.

Ve vodě dochází k neustálému pohybu částic. Tyto částice na sebe vzájemně působí (například tím, že do sebe neustále narážejí) a tím si předávají svou kinetickou energii tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání teplot v celém systému, neboli můžeme říct, že

pohybem částic dochází k neustálému promíchávání systému. Teplo vždy proudí od místa teplejšího k místu chladnějšímu, neboť teplejší část má menší hustotu.

Tepelné proudění vody se využívá v ústředních topeních. Ústřední topení je založené na tom, že hustota vody klesá se vzrůstající teplotou. Zahříváme-li tedy vodu v topení na jednom místě (většinou ve sklepních prostorech pomocí kotlů), zvyšujeme teplotu této vody a zároveň snižujeme její hustotu. Tato voda pak samovolně proudí směrem nahoru, k místu ohřevu klesá voda chladnější, tedy ta s větší hustotou. Tento cyklus se neustále opakuje, dochází k promíchávání a postupnému ohřátí celého systému.

2.7. Voda v podobě sněhové vločky

Voda na Zemi má svůj koloběh. Ze zemského povrchu se neustále odpařuje voda, která se v podobě vodních par dostává do atmosféry. Tato vodní pára se v atmosféře hromadí, dokud nedojde k přesycení atmosféry vodními parami nebo nedojde k poklesu teploty pod tzv. rosný bod (teplota, kdy je vzduch maximálně nasycen vodními parami). Pokud nastane alespoň jeden z těchto dvou jevů, vodní páry v atmosféře začnou při srážce s částicí prachu nebo pylového zrna kondenzovat a vznikají dešťové kapky. Pokud je ovšem okolní teplota nižší než 0°C , nedochází ke kondenzaci, ale k tzv. krystalizaci, tj. k přeměně vody z plynné podoby rovnou do podoby pevné, místo dešťových kapek tedy vznikají ledové krystalky. [6]

Při větších záporných hodnotách teplot padají na zem jen jednotlivé neslepené krystalky ledu, tzv. dendrity, jako suchý prachový sníh. Pokud je však teplota blízká nule, jednotlivé krystalky ledu (velké asi 10 až 12 μm) k sobě v atmosféře přitahují molekuly vodní páry, které na krystalku také zledovatí. Tímto způsobem pak vznikají útvary složené, tzv. sněhové vločky. Velikosti i tvary sněhových vloček mohou být různé, záleží především na vlhkosti vzduchu a na teplotě prostředí. Jednotlivé krystaly ledu mají šestiúhelníkovou strukturu, a jelikož tyto krystaly tvoří sněhovou vločku, zachovává si i ta více méně šestiúhelníkový tvar (případně jsou šestiboké). [6]

Jak se ale z krystalu ledu a vodních par vytvaruje vločka, jakou známe například z obrázků? I na tuto otázku existuje odpověď. Molekuly vody totiž musí k počátečnímu krystalu ledu prostupovat okolním vzduchem, což zpomaluje růst počátečního krystalu. Na krystalu se vytvoří nepatrné výrůstky, které jsou blíže k volným molekulám vody a tudíž je snazší se na toto místo dostat. Molekuly se tedy navážou na dané výrůstky, které

díky tomu postupně rostou, následně se větví na základě stejného principu. Pokud by ovšem platilo jenom toto, vzniklá vločka by pravděpodobně stále nevypadala podle našich představ. Neobjasnili jsme stále ještě její symetrický tvar. Ten bývá vysvětlován tím, že v měřítku jedné vznikající sněhové vločky jsou stejné fyzikální podmínky, a tudíž symetrie vloček je jejich výsledkem. [6]

Vločky zůstávají v oblacích tak dlouho, dokud je udrží vzdušné proudy. Pokud je však již jejich hmotnost velká a vzdušné proudy je neudrží v oblacích, vločky se pomalu začnou snášet k zemskému povrchu, a lidé říkají, že sněží. Vločky do sebe při svém pádu narážejí a dále se shlukují. [6]



Obrázek 12- Různé sněhové vločky [12]

2.8. Mpembův efekt

Co zamrzne dříve, studená nebo horká voda? První odpověď, která většinu lidí napadne, je studená voda. Při prvním rozboru dané věci se to jeví jako logické. Máme-li přeci dvě sklenice s vodou, v jedné máme vodu o teplotě 100°C a v druhé o teplotě 40°C očekáváme, že 100°C voda nejprve musí vychladnout na 40°C a pak jí zamrznutí trvá stejnou dobu jako vodě o teplotě 40°C . Podle tohoto bychom mohli usuzovat, že teplejší voda zamrzá pomaleji než studená.

Ovšem ve skutečnosti to není tak jednoduché. Již v dobách Aristotela se uvažovalo o možnosti, že by teplejší voda mohla zamrznout dříve než studená, ovšem tento jev nebyl vysvětlen a v historii byl často předáván spíše v podobě lidové moudrosti, než jako vědecký fakt.[5]

Změna přišla až v šedesátých letech 20. století. Tehdy žák základní školy Erasto B. Mpemba z Tanzánie (chudá země na východním pobřeží střední Afriky) při výrobě zmrzliny zjistil, že dá-li do mrazničky horkou směs, dostane z ní zmrzlinu dříve, než pokud tam dá studenou. V té době mu však jeho fyzikář nedokázal vysvětlit tento jev. I v budoucnu se mu dostalo spíše posměchu nežli vysvětlení. Během studia na střední škole navštívil přednášku univerzitního profesora D. G. Osborna a i jemu položil otázku, jak je možné, že voda o větší teplotě zamrzne rychleji než voda studená. I profesor nejprve nevěřil, že je to možné, ale slíbil mladému studentovi, že pokus provede. Pokus opravdu vyšel tak, jak předpovídal mladý student. [5]

Dnešní fyzikové se obecně shodují v tom, že tento jev může za určitých podmínek nastat, ovšem nedokáží přesně stanovit, jaké by ty podmínky měly být. Víme, že při chladnutí vody nesmíme brát v úvahu pouze teplotní charakteristiku vody, ale musíme brát v potaz i další faktory. [5]

Jedním z významných faktorů, který může ovlivnit mrznutí vody je vypařování. Teplejší voda se totiž při ochlazování rychleji vypařuje (na svém volném povrchu) a tudíž zamrzá menší množství vody. Problém tohoto vysvětlení je v tom, že může nastat zamrznutí teplejší vody dříve i v uzavřené nádobě, tedy v situaci, kdy se voda nemůže vypařovat. Tento faktor tedy Mpembův jev ovlivňuje, ale není jeho jedinou příčinou.[5]

Dalším faktorem může být změna hustoty vody v závislosti na změně teploty. Teplejší voda má tendenci v nádobě stoupat vzhůru a v nádobě se díky tomu vytváří teplotní gradient. V okamžiku, kdy průměrná teplota původně teplejší kapaliny dosáhne teploty studenější kapaliny je již rozvrstvena tak, že ve spodní části je nejstudenější kapalina a nejteplejší kapalina je nahoře. Ochlazování je poté rychlejší, než bychom očekávali podle průměrné teploty. I přesto, že tento faktor má jistě na Mpembův efekt jistý vliv, jeho experimentální ověření není příliš průkazné. [5]

Při ohřívání vody se uvolňují plyny obsažené ve vodě. Někteří obhájci Mpèbova jevu tvrdí, že takováto změna může posunout bod tuhnutí vody, nebo přinejmenším ovlivnit její vlastnosti z hlediska vedení tepla.

Poslední nejvýznamnější vysvětlení, které zde uvedeme, je podchlazení. Změna skupenství vody je totiž podmíněna vznikem mikroskopických krystalků ledu. Tyto krystalky však obvykle vznikají při teplotě o něco málo nižší než 0°C . Snadněji se utvářejí ve vodě, jež měla před ochlazením vyšší teplotu. Experimentálně bylo dokázáno, že pro studenou vodu se nejčastěji ledové krystalky začnou tvořit při teplotě -4 až -8°C , zatímco u teplé vody je to pouze -2°C . [5]

3. Experimentální část

3.1. Měření povrchového napětí

Povrchové napětí vody se dá měřit pomocí torzních vah tzv. odtrhávací metodou, metodou kapilárního vzestupu, nebo kapkovou metodou. Všechna tato měření jsme provedli.

Nejprve jsme použili metodu **kapilárního vzestupu**. Do válcové nádoby jsme nalili destilovanou vodu. Nádobu jsme uzavřeli a skrz víčko prostrčili kapiláru (viz obrázek č. 13). Poté jsme sledovali, jak se při částečném vynořování a ponořování kapiláry mění výška vodního sloupce h v kapiláře. Měření výšky h jsme provedli desetkrát, naměřené hodnoty h jsme zaznamenali do tabulky a provedli jsme výpočet průměrné hodnoty h pro daný průměr kapiláry (viz. tabulka č. 4). Spočetli jsme chybu měření h . Dosadili jsme do vztahu (6) a vypočetli hodnotu povrchového napětí vody a jeho chybu. Pro porovnání jsme změřili metodou kapilárního vzestupu i povrchové napětí ethanolu, abychom zjistili, jestli je tato metoda vhodná k měření povrchového napětí i u jiných kapalin.



Obrázek 13- Měření povrchového napětí metodou kapilárního vzestupu- do průhledného skleněného válce jsme nalili destilovanou vodu, uzavřeli jsme ho víčkem, skrz které jsme prostrčili kapiláru.

Pro tuto metodu platí:

Ponoříme-li kapiláru do nádoby s vodou, vznikne v kapiláře pod vydutým povrchem kapaliny kapilární tlak p , pro který odvodil Laplace vztah:

$$p = \frac{2\sigma}{R} , \quad (1)$$

kde R je poloměr kulové plochy a σ je povrchové napětí.[10]

Kapilární tlak p pod rovinným povrchem kapaliny v nádobě je nulový, kapalina v kapiláře tak stoupne do takové výšky h , že tlak kapalinového sloupce je roven tlaku p (1) a zároveň je roven hydrostatickému tlaku sloupce kapaliny výšky h , pro který platí vztah (2).

$$p = \rho gh , \quad (2)$$

kde ρ je hustota kapaliny, g je tíhové zrychlení.[10]

Podmínka rovnováhy má tedy tvar:

$$p = \frac{2\sigma}{R} = \rho gh. \quad (3)$$

Označíme-li r poloměr kapiláry a α krajový úhel dostaneme pro R vztah:

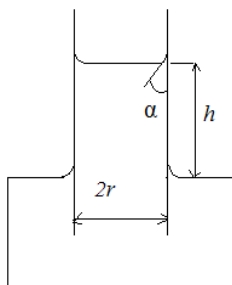
$$R = r / \cos \alpha. \quad (4)$$

Dosazením vztahu (4) do vztahu (3) vychází pro povrchové napětí vztah:

$$\sigma = \rho gh \, r / 2 \cos \alpha , \quad (5)$$

kde h je výška, do které vystoupí kapalina v kapiláře o poloměru r . [10]

Úhel α je velmi malý, tedy $\cos \alpha \approx 1$.



Obrázek 14- Měření povrchového napětí kapilárním vzestupem [4]

Pro povrchové napětí pak platí vztah:

$$\sigma = g \rho h r / 2 \quad (6)$$

Víme, že $[\sigma] = \text{N/m}$, můžeme si tedy ověřit, zda vztah (6) platí rozměrově:

$$\text{N/m} = \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m/s}^2 \text{m}^3,$$

víme, že $N = \text{m} \cdot \text{kg/s}^2$

Po dosazení N a zkrácení m nám vyjde:

$$N/m = N/m,$$

čímž jsme ověřili platnost vztahu (6).

Naměřené hodnoty metodou kapilárního vzestupu při teplotě vody a ethanolu 18,4°C:

Výška h v kapiláře o poloměru 1,28 mm (destilovaná voda)										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
naměřené hodnoty (mm)	12	11	11,5	11	12	12	11	11	12	12
průměr (mm)	(11,6±0,4) při pravděpodobnosti 95%									
povrchové napětí (N/m)	(0,073±0,003) při pravděpodobnosti 95%									

Výška h v kapiláře o poloměru 1,28 mm (ethanol)										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
naměřené hodnoty (mm)	5	4,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4	4
průměr (mm)	(4,5± 0,3) při pravděpodobnosti 95%									
povrchové napětí (N/m)	(0,023±0,002) při pravděpodobnosti 95 %									

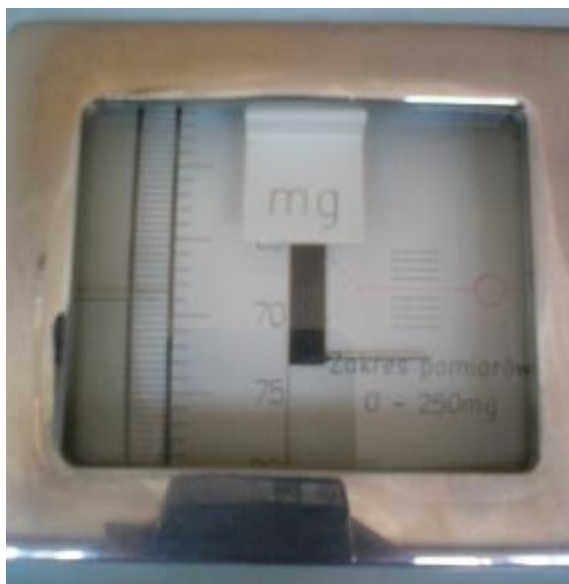
Výška h v kapiláře o poloměru 0,823 mm (destilovaná voda)										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
naměřené hodnoty (mm)	19	18,5	18	18	18,5	18	18	18	17,5	18
průměr (mm)	(18,2± 0,3) při pravděpodobnosti 95%									
povrchové napětí (N/m)	(0,074±0,002) při pravděpodobnosti 95%									

Výška h v kapiláře o poloměru 0,823 mm (ethanol)										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
naměřené hodnoty (mm)	8	8	7,5	7	6,5	7	6,5	6,5	6,5	6,5
průměr (mm)	(7± 0,5) při pravděpodobnosti 95%									
povrchové napětí (N/m)	(0,023±0,002) při pravděpodobnosti 95%									

Tabulka 4- Naměřené hodnoty při kapilárním vzestupu

Naše měření bylo poměrně přesné, neboť po zaokrouhlení odpovídají výsledky tabulkovým hodnotám, anebo jsou v intervalu spočítané chyby. Námi spočtené hodnoty byly nepatrně větší, což bylo způsobeno tím, že tabulkové hodnoty jsou uváděny pro teplotu kapaliny 20°C a námi měřené kapaliny měly pouze 18,4°C, přičemž platí, že povrchové napětí roste se snižující se teplotou.

Poté jsme použili metodu **torzních vah**. Vyvážili jsme tělísko (viz. obrázek 15) tak, aby na pravé stupnici byl jazýček uprostřed stupnice, a na levé stupnici jsme odečetli hmotnost m_2 . Zaaretovali jsme váhy a pod tělísko umístili nádobku s kapalinou (destilovaná voda) na stavěcí stoleček tak, aby hladina kapaliny byla v rovině rámečku. Poté jsme postupně zvedali rámeček, mohli jsme pozorovat, jak se postupně spolu s drátkem „zvedá“ povrchová blanka kapaliny. Tato blanka drží drátek silou $2F = 2\sigma l$. V místě, kde síla působící na drátek při zdvihání P překročila hodnotu $2F$ se rámeček od vody odtrhnul. V místě odtržení jsme odečetli na stupnici hmotnost m_1 . Tento postup jsme opakovali 5x. Dosadili jsme do vztahu (9) a vypočetli povrchové napětí.



Obrázek 15- Stupnice použitých torzních vah

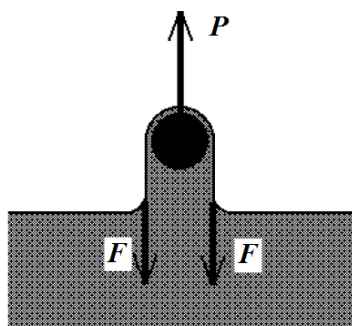
Jelikož jsme měřili sílu v okamžiku odtržení, platí, že síla, kterou drží povrchová blanka drátek ($2F$) je rovna síle působící na drátek při zdvihání (P).[4]

$$2F = P, \quad (7)$$

$$\text{kde} \quad 2F = 2l\sigma \quad (8)$$

Dosazením vztahu (8) do vztahu (7) jsme získali vztah pro výpočet povrchového napětí pomocí torzních vah (9):

$$\sigma = \frac{P}{2l} = \frac{(m_1 - m_2)g}{2l} \quad (9)$$



Obrázek 16- Znázornění sil při použití torzních vah [4]



Obrázek 17- Torzní váhy (Techniprot Pruszkow, Waga Torsyjna-WT, typ PRLT T-3, Nr-35661)



Obrázek 18- Detail rámečku s upevněným drátkem o délce l

Naměřené hodnoty pomocí odtrhací metody (pomocí torzních vah):

Měření povrchového napětí pomocí torzních vah					
číslo měření	1	2	3	4	5
$m_2(\text{mg})$	48,5	49	50	50,5	50,5
$m_1(\text{mg})$	197	198,5	197,5	198,5	194
průměr $m_2(\text{mg})$	50 ± 2				
průměr $m_1(\text{mg})$	197 ± 3				

Tabulka 5- Hodnoty naměřené pomocí torzních vah. Rozdíl naměřených hmotností vynásobený tíhovým zrychlením nám udává sílu potřebnou k odtržení drátku.

$$m_2 = (50 \pm 2) \text{ mg při } P=95\%$$

$$m_1 = (197 \pm 3) \text{ mg při } P=95\%$$

$$\sigma = (m_1 - m_2)g/2l$$

l ...délka drátu upevněného v rámečku (10 mm) (viz obrázek č. 18)

$$\sigma = 0,07215255 \text{ N/m}$$

$$\underline{\underline{\sigma = (0,072 \pm 0,003) \text{ N/m}}}$$

Povrchové napětí destilované vody při teplotě 24,1°C metodou torzních vah vyšlo (0,072±0,003)N/m.

Poslední metodu, kterou jsme pro měření povrchového napětí vody použili, je tzv. **kapková metoda**. Tato metoda je založena na porovnávání povrchového napětí měřené kapaliny s jinou kapalinou u níž známe hodnotu jejího povrchového napětí. Z kapiláry necháme odkapávat kapalinu, jejíž povrchové napětí chceme zjistit. Po n odkapaných kapkách zjistíme hmotnost kapaliny, v našem případě jsme nechávali odkapávat 100 kapek. Tímto způsobem jsme 6x změřili hmotnost 100 kapek vody. Poté jsme 6x změřili i hmotnost sta kapek ethanolu, při odkapávání ze stejné kapiláry. Předpokládali jsme, že povrchové napětí ethanolu známe a pro výpočet jsme použili tabulkovou hodnotu (0,022 N/m).

Při této metodě se vychází z toho, že kapka se odtrhne v místě zaškrčení (viz. obrázek 19). Místo zaškrčení je místo, kde se kapka odtrhne od kapiláry. Kapka se odtrhne od kapiláry právě v okamžiku, kdy tíha kapky G překoná sílu povrchového napětí F . V místě odtržení tak platí, že síla povrchového napětí F je rovna tíze kapky G . Poloměr kapky v místě zaškrčení označíme r' . Síla F povrchového napětí v místě zaškrčení je:

$$F = 2\pi r' \sigma,$$

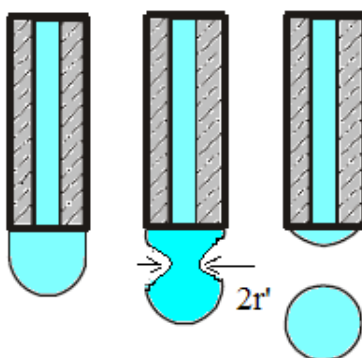
zároveň platí, že síla F je v okamžiku odtržení rovna tíze kapky $G = mg$. Dosadíme-li do předešlé rovnice za sílu F tíhu kapky G , dostaneme vztah pro povrchové napětí ve tvaru:

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi r'}. \quad [4]$$

Poloměr r' je velmi těžké určit, ukazuje se však, že při práci se stejnou kapilárou pro dvě odlišné kapaliny je poloměr r' přibližně stejný. Označíme-li pro jednu kapalinu povrchové napětí σ_1 a hmotnost n kapek m_1 a pro druhou kapalinu povrchové napětí σ_2 a hmotnost n kapek m_2 , dostaneme za předpokladu stejného r' obou kapalin rovnici pro poměr jejich povrchových napětí.[4]

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

Z této rovnice plyne, že poměr povrchových napětí dvou kapalin, pokud známe povrchové napětí druhé kapaliny, lze určit srovnáním hmotnosti n kapek jedné kapaliny a hmotnosti n kapek druhé kapaliny.



Obrázek 19- Odkapávání kapaliny z kapiláry, znázornění místa zaškrčení o poloměru r'

Naměřené hodnoty při kapkové metodě:

m_1 - hmotnost 100 kapek vody (g)					
6,42	6,46	6,45	6,44	6,42	6,4
Průměr m_1	6,43167	$m_1=(6,43\pm0,03)$ g při P=95%			
m_2 - hmotnost 100 kapek ethanolu (g)					
1,93	1,94	1,87	2	1,98	1,99
Průměr m_2	1,95167	$m_2=(1,95\pm0,06)$ g při P=95%			

Tabulka 6- Hmotnost 100 kapek vody a ethanolu

$\sigma_2 = 0,022$ N/m- povrchové napětí ethanolu při teplotě 20 °C (tabulková hodnota)

σ_1 - povrchové napětí vody

Z naměřených hmotností vody a ethanolu jsme spočetli aritmetický průměr a krajní výslednou chybu měřené hmotnosti.

Chybu m_1 a m_2 jsme spočetli podle vztahu:

$$\kappa = t_{p,n} \cdot \left(\frac{\sum (m_i - \bar{m})^2}{n(n-1)} \right)^{0,5}, \text{ kde}$$

n je počet měření v našem případě 6

\bar{m} je aritmetický průměr hmotností dané kapaliny

m_i - jednotlivé naměřené hodnoty hmotnosti

$t_{p,n}$ - je hodnota Studentova součinitele pro daný počet měření (6) při pravděpodobnosti 95%, pro naše měření $t_{p,n} = 2,57$

Poté jsme dosadili do vztahu $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow \sigma_1 = \sigma_2 \frac{m_1}{m_2}$ a spočetli chybu pomocí

lineárního zákona hromadění chyb:

$$\kappa(\sigma_1) = \left| \frac{m_1}{m_2} \kappa(\sigma_2) \right| + \left| \frac{\sigma_2}{m_2} \kappa(m_1) \right| + \left| \frac{\sigma_2 m_1}{m_2^2} \kappa(m_2) \right| \cong 3 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\sigma_1 \cong (0,022 \cdot 0,00643) / 0,00195 = 0,0725 \text{ n/M}$$

Dostali jsme $\sigma_1 \cong (0,073 \pm 0,003) \text{ N/m}$.

Tato hodnota odpovídá tabulkové hodnotě pro teplotu 20°C, teplota měřené vody byla 18,6°C.



Obrázek 20- Měření povrchového napětí kapkovou metodou. Na obrázku můžeme vidět, jak může vypadat měření povrchového napětí kapkovou metodou. Do baňky, ke které byla připevněna kapilára jsme nalili vodu, kohoutkem jsme upravili množství vody pouštěné do kapiláry tak, abychom mohli počítat jednotlivé kapky. Nechali jsme 6x odkapat 100 kapek vody a 6x 100 kapek ethanolu a zaznamenali si jejich hmotnosti m_1, m_2 .



Obrázek 21- Měření povrchového napětí kapkovou metodou. Na obrázku je vidět okamžik odtržení kapky od kapiláry (tíha kapky G je rovna povrchové síle vody F).

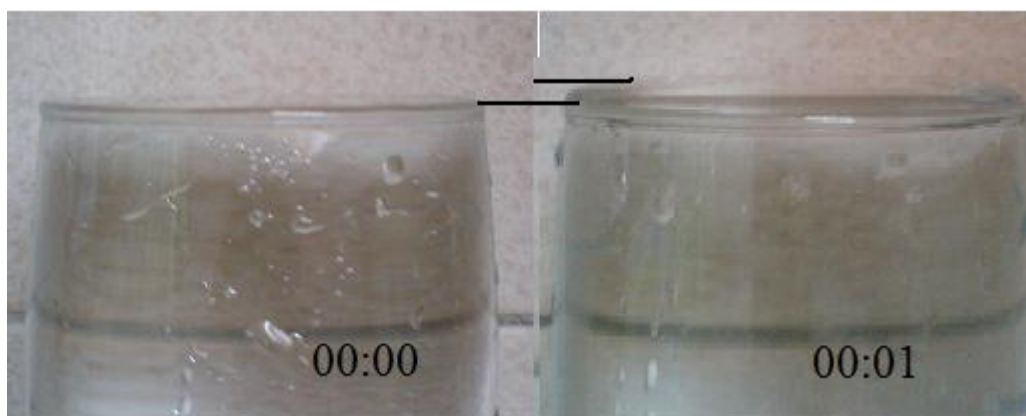
Provedli jsme tři různá měření a pokaždé nám vyšlo povrchové napětí přibližně odpovídající tabulkovým hodnotám. Z hlediska využití ve školní praxi se jako nejdostupnější zdá měření povrchového napětí vody pomocí kapilárního vzestupu a to proto, že kapilární trubička jistě bude na rozdíl od torzních vah dostupná v mnoha školních zařízeních. Naopak s torzními váhami se jistě příliš často nesetkáme, ale pokud by byla tato možnost, jistě bychom je měli do výuky také zařadit, neboť zde studenti mohou pouhým okem vidět zvedání blanky na povrchu kapaliny. I kapková metoda je velmi zajímavá, a pokud je k dostání kapilární trubička, která je rozšířená v baňku, jistě bychom neměli váhat a i tento pokus zařadit do výuky.

3.2. Povrchové napětí ve školních pokusech

K jednomu z nejjednodušších pokusů předvádějících povrchové napětí či povrchovou vrstvu je pokus, který nejen jednoduše předvedeme ve škole, ale také si ho každý může vyzkoušet sám doma. Potřebujeme pouze sklenici naplněnou až po okraj čistou vodou a drobné mince. Do naplněné sklenice opatrně vhazujeme mince, tak abychom nezpůsobili příliš velký pohyb vodní hladiny. Pozorujeme, jak se vodní hladina začíná postupně zvedat, ovšem místo toho, aby voda ze sklenice vytekla, začne tvořit vodní „bouli“ (viz. obrázek č.23). Je to způsobeno tím, že molekuly povrchové vrstvy jsou přitahovány molekulami uvnitř nádoby. Hladina vody se pak chová jako vodní membrána, která zabraňuje vodě vytéct ven z nádoby.



Obrázek 22- Na levém obrázku sklenice s vodou před vhozením mincí, na pravém obrázku její detail s vyznačenou počáteční vodní hladinou



Obrázek 23- Obrázky znázorňující rozdíl hladiny před a po vhození mincí. Na levém obrázku je znázorněn počáteční stav, na druhém obrázku je vidět stav hladiny po vhození mincí, hladina se nadzvedle, ale voda nevytekla.

Dalším pokusem, který se dá jednoduše předvést, je pokus s papírovým květem. Děti si vystříhají květy z obyčejného bílého papíru, květ si můžou vybarvit podle vlastního vkusu (ideální je zvolit pastelky, neboť při vymalovávání fixami, nebo jinými barvami obsahující vodu, by se dětem mohl květ nasáknout ještě před položením na vodní hladinu a květ by se posléze na vodní hladině neotevřel). Pak složíme okvětní lístky tak, že to vypadá, že je květ zavřený (viz. obrázek 25). Květ jemně položíme na vodní hladinu a chvíli (pár vteřin) čekáme. Květina se po chvíli začne rozevírat. Je to způsobeno tím, že papír, ze kterého jsme květ složili, se skládá především z rostlinných vláken (kapilár). Voda tedy začne vtékat do kapilár a květ se v důsledku toho začne pomalu rozevírat.



Obrázek 24- Vybarvený papírový květ



Obrázek 25- Složený květ před položením na vodní hladinu



Obrázek 26- Květ těsně po položení na vodní hladinu



Obrázek 27- Zde můžeme pozorovat počáteční rozevírání květu na vodní hladině



Obrázek 28- Postupné stoupání vody v kapilárách nám již rozevřelo 3 okvětní lístky



Obrázek 29- Květ je v důsledku kapilárního vzestupu skoro otevřen



Obrázek 30- Květ se na vodní hladině postupně úplně rozevřel

3.3. Experiment znázorňující změnu objemu a hustoty vody v závislosti na změně teploty vody

Změnu objemu a hustoty vody v závislosti na změně teploty vody lze ukázat na jednoduchém pokusu znázorněném na obrázku č. 31. K tomuto pokusu potřebujeme pet lahev (v našem případě jsme zvolili 1,5 litrovou pet lahev), delší průhlednou trubičku (v našem případě jsme použili skleněnou trubičku o délce 40 cm a vnitřním průměru

0,7 cm), vodu (přes 1,5 litru tak abychom měli lahev úplně plnou), stupnici (z tvrdšího papíru jsme ustříhli 3 cm široký proužek, na který jsme nakreslili stupnici s dílkem 1 cm, v dolní a horní části jsme udělali v proužku otvory, kterými jsme poté provlékli skleněnou trubičku), jako těsnicí materiál jsme použili materiál z tavící pistole.

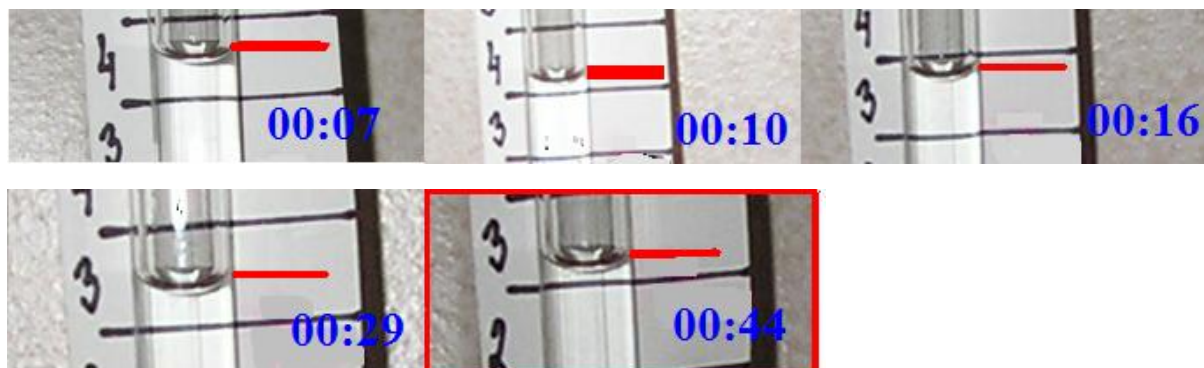
Pro námi provedený pokus předpokládáme, že změny objemu plastové láhve jsou pro naše rozmezí teplot zanedbatelné. Teplo s okolím se vyměňuje po celém povrchu láhve, voda by se proto měla promíchávat, jelikož však dochází k velmi pomalému ohřívání, předpokládáme stejnou teplotu vody v celém objemu.

Do víčka od lahve jsme vyvrtali díрку o přibližně stejném poloměru jako má skleněná trubička. Protáhli jsme trubičku víčkem a utěsnili tavící pistolí. Na skleněnou trubičku jsme navlékli stupnici vytvořenou z tvrdšího papíru (viz první odstavec této kapitoly). Poté jsme naplnili lahev čistou vodou z vodovodu. Lahev jsme vložili do mrazničky a to do doby, než se na okrajích začal tvořit tenký škrálop led (lahve jsme v mrazničce museli pravidelně kontrolovat, škrálop led se začal tvořit za necelou hodinu). Poté jsme lahev vyndali a přenesli ji do místnosti o průměrné teplotě 20°C. Led jsme nechali roztát, čímž jsme dostali vodu s teplotou blízké 0°C. Vyznačili jsme počáteční výšku sloupce (obr. 31).



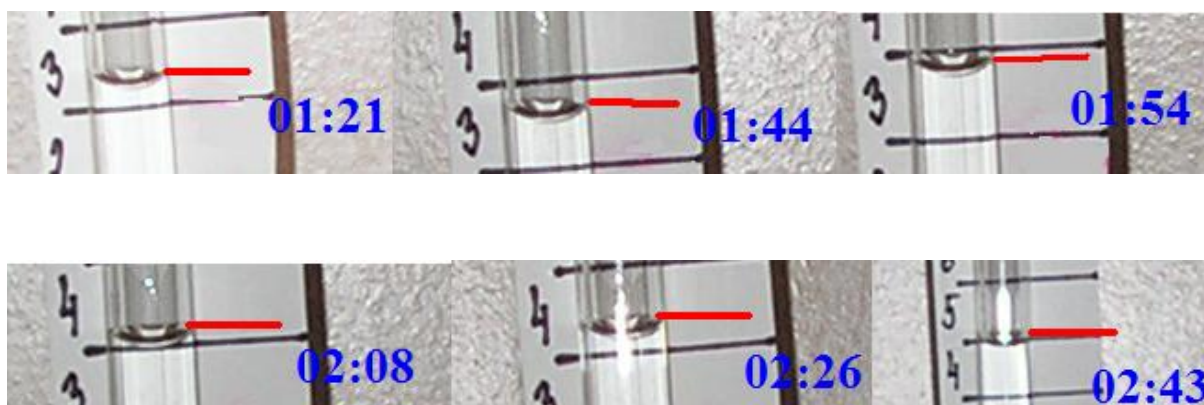
Obrázek 31- Počáteční výška sloupce, na levém obrázku je znázorněn detail počátečního stavu, na pravé straně je vyfotografován počáteční stav z větší vzdálenosti

Vodní sloupec v trubici se začal postupně zmenšovat. To je způsobeno právě anomálií vody (viz. kapitola 2. 2.), kdy při zahřívání z 0°C ke 4°C dochází ke zmenšování objemu vody a zároveň ke zvyšování hustoty. Průběh zmenšování sloupce v kapiláře jsme vyfotografovali a uvedli v obrázku 32.



Obrázek 32- Zmenšování vodního sloupce – je zde znázorněno chování vody v intervalu teploty od 0°C do 4°C, objem vody se v tomto intervalu zmenšuje. Na posledním vyznačeném obrázku je označena na rysce nejmenší hodnota, které vodní sloupec dosáhl.

Po překročení teploty přibližně 4°C se opět začal sloupec zvyšovat. Tento jev je vidět na obrázku 33.

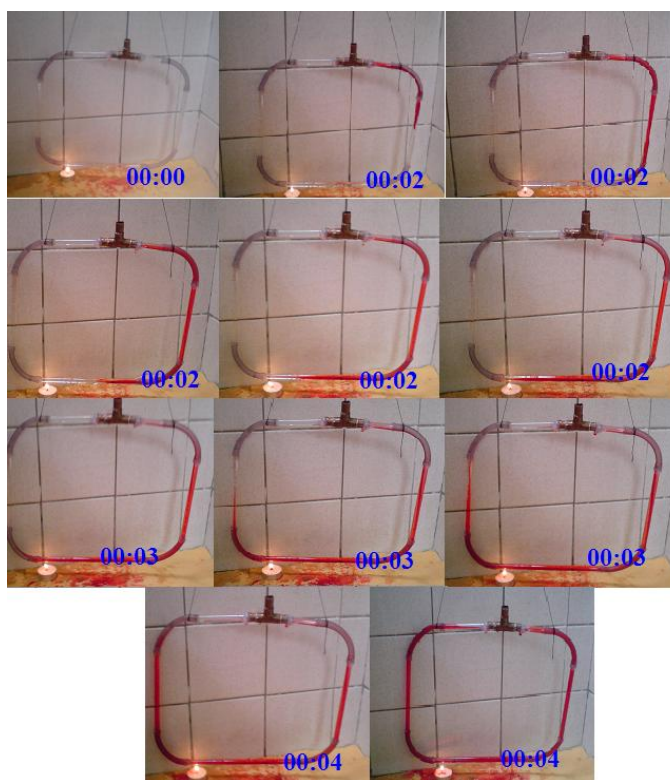


Obrázek 33- Postupné zvyšování vodního sloupce- Po překročení teploty 4°C začala voda postupně zvětšovat svůj objem tzn. snižovat svou hustotu. Voda postupně vystoupala ve skleněné trubici až do původní výšky.

Voda nakonec vystoupala do přibližně stejné výšky, jako byla při teplotě 0°C. Na přiložených obrázcích můžeme vidět, že daná anomálie funguje opravdu tak, jak byla popsána v kapitole 2.2. tzn. voda opravdu zmenšuje svůj objem a zvyšuje svou hustotu při teplotě z intervalu 0-4°C, naopak po překročení teploty 4°C začne svůj objem zvyšovat, to znamená, snižuje svou hustotu.

3.3. Experiment znázorňující tepelné proudění vody

Tepelné proudění vody lze znázornit na jednoduchém pokusu, kdy spojíme skleněné trubičky do čtyřúhelníka. Na vrchní části skleněného čtyřúhelníka necháme otvor pro nalití vody a přisypání barviva. Vzniklý čtyřúhelníkový útvar naplníme vodou a shora nasypeme trochu barviva (např. potravinářského). Pod skleněnou konstrukcí (viz obrázek č. 34) v jednom rohu skleněného čtyřúhelníka pak zapálíme svíčku, po chvíli (v našem případě asi minutě) nasypeme otvorem v horní části konstrukce do vody potravinářské barvivo. Hned můžeme pozorovat, jak se barvivo začne šířit (viz. obrázek č. 34) dokud se nerozšíří po celém objemu. Směr, kterým se barvivo ve vodě šíří je směr proudění vody.



Obrázek 34- Pokus znázorňující tepelné proudění vody. Na prvním obrázku můžeme vidět počáteční stav, kdy jsme jen zahřívali vodu. Přibližně po minutě jsme otvorem na vrcholu konstrukce přisypali potravinářské barvivo. Na zbývajících obrázcích můžeme pozorovat postupné šíření barviva ve směru proudění vody. Barvivo se nakonec rozšířilo po celém objemu vody.

4. Voda kolem nás

4.1. Výskyt vody na Zemi

Vody lze rozlišovat podle různých kritérií jako je původ, výskyt a použití. Podle původu dělíme vody na přírodní a odpadní, podle místa výskytu se přírodní vody dělí na atmosferické, povrchové a podzemní, podle použití na vodu pitnou, užitkovou, provozní a odpadní.

4.1.1. Přírodní vody

4.1.1.1. Atmosferická voda

Atmosferická voda je veškerá voda v ovzduší v jakémkoliv skupenství. Výsledek kondenzace vodních par v ovzduší jsou srážky, které mohou být kapalné (déšť, mrholení, mlha, rosa) nebo tuhé (sníh, kroupy, námraza, jinovatka). Množství srážek vyjadřujeme jako srážkovou výšku a udáváme jí v milimetrech. Jeden milimetr srážek odpovídá 1 l vody spadlé na plochu 1 m². [13]

4.1.1.2. Podzemní vody

Podzemní vodou se rozumí všechna voda vyskytující se pod zemským povrchem, což je převážně v prasklinách hornin či v mezerách mezi částicemi půdy. Podzemní voda tvoří okolo 20 % světových zásob sladké vody, využívá se často jako zdroj pitné vody. [15]

„Podle celkového chemického složení se dělí podzemní vody na prosté vody a minerální.“

Podzemní voda se při svém pohybu dostává do styku s půdou a horninami, které ovlivňují chemické složení vody. Toto složení ovšem závisí i na složení srážkových a povrchových vod. [13]

4.1.1.2.1. Minerální voda

Z prosté podzemní vody se stává minerální voda překročením limitních koncentrací vybraných složek, které jsou shrnuty v tabulce 7. [13]

Minerální vody se dále dělí na přírodní minerální vody, přírodní léčivé vody, přírodní minerální vody stolní.

Přírodní minerální vody při vývěru obsahují minimálně 1g/l rozpuštěných tuhých látek nebo minimálně 1 g/l volného oxidu uhličitého.

Přírodní léčivé vody mají vědecky dokázané, pro lidstvo velmi užitečné účinky a to například díky svému chemickému složení.

Přírodní minerální voda stolní je voda, která díky svému chemickému složení, fyzikálním a smyslovým vlastnostem je vhodná k osvěžení. Nemá léčivé účinky a obsahuje více než 1 g/l volného oxidu uhličitého a ne více než 6 g/l rozpuštěných tuhých látek.[15]

Ukazatel	Hodnota
teplota	25°C
celková mineralizace	1000mg/l
volný CO ²	1000mg/l
veškerá S ^{-II}	1mg/l
Fe	10mg/l
I ⁻	5mg/l
Arsen	0,7mg/l

Tabulka 7 -Mezní hodnoty pro definici minerální vody podle ČSN 86 8000 [13]

4.1.1.2.2. Prostá voda

Voda, která má nižší obsah rozpuštěných plynů a anorganických látek než je uvedeno v tabulce 7, se nazývá vodou prostou. Vodu prostou nelze označit za minerální vodu.

4.1.1.3. Povrchové vody

„Za povrchovou vodu považujeme každou vodu přirozeně se vyskytující na zemském povrchu.“ Základní dělení povrchových vod je na vody kontinentální (sladké) a vodu mořskou (slanou). Lze se ještě setkat s tzv. vodou brakickou, která je na pomezí mezi vodou slanou a sladkou (je sladší než voda slaná, ale slanější než voda sladká). Brakická voda se nejčastěji nachází v místě vtékání sladkovodních toků do moří a oceánů. [13]

4.1.1.3.1. Kontinentální vody

Kontinentální vody lze dále rozdělit podle různých kritérií. Např. na vody stojaté (vodní nádrže, jezera, rybníky) a tekoucí (vodní toky), či na vody v uměle vytvořených nádržích (rybníky, kanály, nádrže) a vody v přírodních nádržích (jezera, potoky...). Podle využití dále rozlišujeme toky vodárenské a ostatní, kdy do vodárenských toků řadíme toky určené k úpravě pro pitné účely a do ostatních řadíme vody nějakým způsobem společností užitečné (rekreace, rybolov, lodní doprava...).[13]

4.1.1.3.2. Mořská voda

Pojmem mořská voda rozumíme vodu všech moří a oceánů. „*Moře je část oceánu vnikající do pevniny a oddělená od oceánu řetězem ostrovů.*“ Oceán leží mezi pevninami, má hluboké pánve a uzavřený proudový systém s vodními masami s typickým rozvrstvením teplot. [13]

4.1.2. Pitná, užitková a provozní voda

4.1.2.1. Pitná voda

Pitná voda patří k základním životním potřebám. Jedná se o vodu zdravotně nezávadnou, která ani při dlouhodobém požívání nevyvolá negativní reakci organismu. Pitná voda musí splňovat hygienické, chemické a zdravotní požadavky, jinak by mohlo dojít k různým zdravotním problémům akutního, či chronického rázu.[13]

Přestože pro většinu lidí ve vyspělých zemích je příjem kvalitní pitné vody samozřejmostí kdekoli a kdykoli, málokdo ví, jak složitý je proces přípravy této vody a její kontroly. Pitná voda se získává úpravou povrchové nebo podzemní vody (vody sladké). Tato úprava probíhá ve čtyřech krocích popsanych v následujících odstavcích.

V prvním kroku je voda přivedena z přehrady do úpravní. Některé znečišťující částice ve vodě jsou tak malé, že by nemohly být zachyceny pískovým filtrem, a proto se do vody dávkuje síran hlinitý a hydroxid vápenatý v podobě vápenné vody. Tyto dvě látky spolu reagují a vytváří objemnou gelovitou sraženinu, která má schopnost shlukovat se do větších částic a přitom na sebe vázat drobné částice znečištění. Úprava vody síranem hlinitým a hydroxidem vápenatým je druhým krokem při přípravě pitné vody.

Poté, co jsou drobné částice navázané k větším, je možné přejít k třetímu kroku a tím je filtrace. Voda přechází přes vysokou vrstvu speciálního křemičitého písku, na němž se usazují nečistoty. Tyto usazené nečistoty způsobují postupné zanešení křemičitého filtru. Při čištění filtru vzniká kalová voda, která se odvádí do čistírny odpadních vod. Ale vraťme se k přefiltrované vodě.

Voda protéká filtrem stále ještě obsahuje zdraví škodlivé mikroorganismy, proto musí nastat krok číslo čtyři, který se nazývá dezinfekce. Dezinfekce probíhá v různých úpravárnách vody různě. Mezi nejmodernější metody patří ozonizace, nebo prozáření vody UV zářením. Pitná voda, aby byla pro dlouhodobé požívání vhodná, musí obsahovat určité množství rozpuštěných látek, které se při dezinfekci kontrolují a regulují. Před tím, než je upravená voda poslána vodovodem uživateli, musí být hygienicky zabezpečená, aby při možném kontaktu s mikroorganismy nepřišla veškerá práce nazmar a abychom neměli opět jen nepitnou vodu. Do vody se tedy přidávají dezinfekční prostředky, které v ní přetrvávají po delší dobu. Nejčastěji takto využívaným dezinfekčním prostředkem je chlor.[13]

I přesto, že si umíme různými úpravami z běžné vody vyrobit vodu pitnou, nesmíme zapomínat, že sladké vody je na Zemi jenom omezené množství (viz. tab. 8.). Jelikož populace a tím i spotřeba pitné vody neustále stoupá, můžeme se již dnes v některých částech světa (například v některých státech Afriky) setkat s tím, že pitná voda je nad zlato a již dnes miliony lidí ročně umírají na nedostatek pitné vody.[26]

Bilance vody na Zemi		
	objem	procentuální podíl
voda v mořích	1 348 000 000km ³	97,40%
voda vázaná v ledovcích	27 820 000km ³	2,01%
podzemní voda a půdní vlhkost	8 062 000 km ³	0,58%
voda v řekách a jezerech	225 000 km ³	0,02%
voda v atmosféře	13 000 km ³	0,00%
celkem	1 384 120 000 km³	100%
z toho sladká voda	36 020 000 km³	2,60%

Tabulka 8 – Výskyt vody na Zemi v různých podobách, je důležité si všimnout, jak malé procento z celkového množství zaujímá sladká voda. [13]

4.1.2.2. Užitková a provozní voda

„Užitková voda je hygienicky nezávadná voda, která není určena k pití ani k vaření. Z hygienického hlediska se na jakost užitkové vody kladou stejné požadavky jako na vodu pitnou, avšak některé požadavky na její chemické a fyzikální vlastnosti mohou být méně přísné.“ [13]

Provozní voda je voda pro různé výrobní a nevýrobní účely (chlazení, mytí zařízení, hydraulickou dopravu, rozpouštění surovin aj.), jejíž jakost odpovídá příslušnému způsobu použití. [13]

4.1.3. Odpadní vody

Odpadní voda je voda, která byla znečištěná lidskou činností tzn. voda použitá na sídlištích, zdravotnických zařízeních atd., která má při odvádění z těchto zařízení změněnou jakost (teplotu, složení). Odpadní vody lze rozdělit do tří skupin a to na odpadní vody splaškové, městské a průmyslové

Splaškové odpadní vody jsou odpadní vody z domácností, hygienických zařízení, objektů společného stravování, ubytování apod. [13]

Městské odpadní vody jsou směsí splašků a průmyslových odpadních vod, popřípadě vody dešťové a jiných vod (např. z čištění ulic a veřejných prostranství) odváděných veřejnou kanalizací. [13]

Průmyslové odpadní vody jsou vody použité a znečištěné při výrobním procesu, které jsou ze závodu vypouštěny a pro daný proces již nejsou použitelné. [13]

4.2. Voda na Zemi

Voda je jednou z nejrozšířenějších látek na Zemi. Kdyby celý objem všech podob vody pokryl rovnoměrně zemský povrch, rozprostírala by se na Zemi vodní plocha o průměrné hloubce 2620 m.

Moře a oceány pokrývají 71% zemského povrchu, pevniny pak zabírají 29 % zemského povrchu. Ani těchto 29% však nemůže člověk volně využívat, neboť 20% pevniny je pokryto stálým ledem a ze zbytku dalších 20% jsou oblasti s nedostatkem vody. Dále jsou zde nedostupné oblasti některých hor. Z celkového zemského povrchu pak na lidstvo a jeho život zůstává jen asi 12%.

4.2.1. Člověk a vodní zdroje

Před obdobím středověku byla voda pro člověka neovladatelným přírodním živlem. Člověk byl v minulosti proti škodám způsobeným vodou bezmocný. Trpěl při jejím nedostatku, ale neuměl tomu čelit. To se však změnilo ve 20. stol., kdy lidé začali stavět přehrady, nádrže pro akumulaci vody apod. Na druhou stranu však také začalo ve velké míře znečišťování vody, které často ohrožuje existenci života v ní.

V 70. letech 20. století si začíná lidstvo uvědomovat význam vody a začíná hledat cesty její ochrany. Tyto snahy pak vrcholí světovou konferencí OSN o vodě, která proběhla v březnu 1977 v argentinském městě Mar de Plata. Tato konference byla prvním skutečně celosvětovým fórem k projednávání problémů vodního hospodářství, využití a ochrany vodních zdrojů na celém světě. Řešily se zde takové problémy, jako je nedostatek pitné vody (až pro 1/5 obyvatelstva), znečišťování vody toxickými látkami, snižování zdrojů podzemních i povrchových vod apod. Výsledkem konference byl Akční plán z Mar de Plata, který obsahuje mnoho zásad pro řízení státní politiky při využívání vodních zdrojů a zabezpečování jejich ochrany s cílem zabránit celosvětové vodní krizi. [13]

Člověk však nepříznivě ovlivňuje vodní zdroje i dalšími cestami, a to např. změnami vegetačního pokryvu (kácení lesů, odvodňování...)

O patnáct let později proběhla konference v Dublinu, která však přinesla pouze smutné konstatování, že z 1/5 obyvatel Země bez pitné vody se stala více než čtvrtina. V řadě oblastí (arabské země, Jižní Amerika, asijské státy bývalého SSSR a další) jsou nároky na vodu a přístup k vodním zdrojům příčinami možných politických i vojenských střetnutí. V důsledku rozšiřování orné půdy, regulace toků, odlesňování dochází stále častěji k obdobím sucha či naopak přetékání řek z jejich koryt při povodních. Lidstvo se tak vzdaluje od souladu se základní složkou přírody, která umožnila jeho vznik a rozvoj. [22]

V návaznosti na tyto důsledky vyhlásilo OSN na základě doporučení Konference OSN o životním prostředí a rozvoji v Rio de Janeiru (1992) a rozboru situace z této oblasti provedeném v Dublinu na Mezinárodní konferenci o vodě a životním prostředí v prosinci roku 1992 22. březen Světovým dnem vody.

Světový den vody mají členské státy OSN využít jako den osvětových akcí, které mají v lidstvu vzbudit zájem o ochranu a rozvoj vodních zdrojů.

V roce 1998 pak proběhla další konference v Paříži, která opět řešila otázku nedostatku pitné vody a jejího znečišťování. Celý proces pokračoval v roce 2002 v Bonnu, kde se prozkoumávaly výsledky snažení za posledních deset let (tedy od Rio de Janeira).

Pro uvědomění si významu čisté vody pro život na Zemi vyhlásila OSN rok 2003 Mezinárodním rokem čisté vody a zdůraznila tak nenahraditelnost vody. Vodu bychom měli chránit, neboť v budoucnu by díky jejímu nedostatku mohlo dojít k mnoha konfliktům. [22]

V tureckém Istanbulu v roce 2009 proběhlo Světové vodní fórum, kterého se zúčastnili delegáti ze 180 zemí. Na závěr tohoto fóra byla vydána deklarace, která zdůrazňuje nezbytnost zlepšení přístupu k vodě a k zásobování pitnou vodou ve světě.

Dalším významným dokumentem dotýkajícím se problematiky pitné vody je Kjótský protokol, jehož hlavním cílem je sice snižování množství vypouštěných skleníkových plynů, ovšem ty způsobují oteplování planety, což má za následek tání ledovců a opětovné snižování množství pitné vody na Zemi. Po celém světě probíhají různé konference, fóra apod. týkající se vody, není zde možné všechny vyjmenovat a popsat. Lidstvo se na různých úrovních snaží chránit svoje zdroje a tedy i vodu. Kdyby se dodrželo vždy to, co se naplánuje, tak by změny k lepšímu byly jistě mnohem rychlejší.

4.3. Léčebné účinky vody

Jednou z významných osobností, která je často spojována s využíváním vody v léčitelství, je Vincenz Priessnitz, tzv. vodní doktor. Vincenz Priessnitz byl německé národnosti, narodil se roku 1799 v slezské části Jeseníků v rodině jesenického měšťana a majitele malé zemědělské usedlosti v osadě Gräfenberk, v této oblasti pak začal uplatňovat své léčitelství. Tento muž přinesl do českého lázeňství spoustu nových léčebných metod,

kteře byly velmi často spojeny právě s vodou. Mezi nejznámější vodoléčebné metody patří skotské stříky, Priessnitzovy zábaly, obyčejné šlapání v ledové vodě nebo prosté namáčení částí těla. Ukázalo se, že těmito metodami se můžou léčit různé neurózy, psychická onemocnění, ale třeba také astma, alergie, různé hormonální poruchy apod.

4.3.1. Priessnitzův obklad

Priessnitzův zábal je studený zapařovací obklad. Tento obklad se může přikládat na různé části těla (nejčastěji však na krk) za účelem dosáhnutí lokálního prokrvení. Na Priessnitzův zábal potřebujeme jen pomůcky, které jsou součástí každé domácnosti. Stačí mít jen igelitový sáček (nepromokavý materiál), látkový kapesník (nebo kus jiné savé látky) a nějaký suchý šátek. Poté na suchý šál položíme sáček, na nějž umístíme dobře vyždímaný kapesník, který jsme před tím vymáchali ve studené vodě. Musíme dát pozor, aby neprolínavá část přesahovala tu mokrou (aby nedošlo k promočení celého zábalu). Poté přiložíme na místo, kterému chceme tímto záballem ulevit, a necháme působit po dobu 2-3 hodin. [24]

Děj probíhající pod obkladem probíhá ve třech fázích.

První fáze se nazývá hypotermická, trvá přibližně 2-3 minuty, v místě přiložení obkladu dochází k snížení teploty a globálnímu zúžení cév. [24]

Druhá fáze se nazývá izotermická, nastupuje v 30. - 40. minutě. Dochází ke stabilizaci teploty pod obkladem a k opaku první fáze, tedy ke globálnímu rozšiřování cév. [24]

Třetí fáze tzv. hypotermická, trvá 60-80 minut. Pod obkladem dochází k přehřátí a lokálnímu rozšíření cév. [24]

Priessnitzův obklad vede ke zlepšení prokrvení postiženého místa, což vede k urychlení léčebného procesu v těle. [24]

4.3.2 Působení ledové vody na organismus

Ačkoliv značná část populace někdy trpí takovými obtížemi, jako jsou bolest hlavy, nespavost, stres, alergie, problémy s dýcháním, srdeční potíže spojené s rychlou tepovou frekvencí, poruchami štítné žlázy apod, málokoho napadne obrátit se místo na různé medikamenty na obyčejnou čistou vodu. Voda nám přitom může pomoci, a to různými cestami.

Například ponoříme-li ruce do mělkého bazénku, kterým protéká přírodní pramínek vody o teplotě 8-15°C, dojde k místnímu prokrvení horních končetin. Toto prokrvení se cestou reflexů posouvá dále do hrudníku, krku a hlavy, kde nám právě může ulevit třeba od bolesti. Totéž pak platí pro venkovní smáčení dolních končetin.

Jednou z nejsložitějších procedur je tzv. Priessnitzova jednofázová a dvoufázová pololázeň. Tato metoda spočívá v krátkém předeřtání těla teplou vodou ve sprše, poté následuje ovinutí celého těla mokrým studeným prostěradlem a klidné ležení v zábalu, dokud nedojde k prohřátí a opocení. Nakonec pacienta čeká koupel ve vodě o teplotě 35°C, při které dochází ke kartáčování, polévání šíje, zad a končetin chladnou vodou. Takovéto střídání tepelných podnětů povzbuzuje krevní oběh a funkce vnitřních orgánů. Pokud se tato procedura opakuje, může dojít k výraznému zlepšení odolnosti proti infekcím, zlepšení funkce srdce, cév a také může pomoci odbourat psychický stres. [17]



Obrázek 35- Priessnitzovy venkovní koupele horních končetin v lázních Jeseník [17]

5. Závěr

Člověk se s vodou setkává nepřetržitě po celý svůj život. Přestože je voda tedy něčím v životě zcela běžným, informace o ní, jejím složení, vlastnostech a významu pro náš život jsou většinou pouze útržkovité. V mnoha publikacích jsou tyto informace spíše takovým doplňkem textu, než hlavním tématem díla. Pokud se již setkáme s publikací věnovanou vodě, spíše než na fyzikální a chemické vlastnosti je zaměřená na ekologickou podstatu vody a často zde chybí spojení mezi těmito dvěma pohledy. Ani ve školních učebnicích to není jiné, přestože voda je i pro děti nejběžnější kapalinou, ve studijních textech jsou o ní jen zmínky v závěrech kapitol. Autoři například uvedou jako příklad hodnotu povrchového napětí vody, její tepelnou kapacitu apodobně, ale často už neuvedou, že tyto hodnoty jsou v porovnání s ostatními kapalinami výjimečné a voda je díky nim pro život nepostradatelná.

V této bakalářské práci jsme zpracovali nejzajímavější a nejdůležitější okruhy týkající se vody, jejích fyzikálně chemických vlastností a jejího výskytu na Zemi. Tento text jsme se snažili psát srozumitelně, aby mohl být i přínosem pro neodbornou veřejnost a byl motivační k dalšímu vzdělávání v této oblasti.

Cílem této práce bylo vysvětlit základní fyzikální vlastnosti vody a ukázat jejich význam pro existenci života na Zemi. Zaměřili jsme se na takové vlastnosti jako je povrchové napětí, anomálie vody a tepelné vlastnosti vody, neboť všechny tyto vlastnosti dohromady dělají vodu pro existenci života na Zemi nepostradatelnou. Bez anomálie vody by v zimě nepřežili v jezerech žádní živočichové, bez povrchového napětí by nedošlo ke kapilárnímu vzestupu ve vlasečnicích rostlin a rostliny na Zemi by uschnuly. Také tepelné vlastnosti vody ovlivňují náš život, například vysoká měrná tepelná kapacita vody způsobuje, že voda má schopnost akumulovat či uvolňovat velké množství tepla. To způsobuje, že jsou změny klimatu kolem vodních ploch pomalejší, a tudíž tvoří lepší podmínky pro život.

Jednotlivé fyzikální vlastnosti vody jsme se snažili čtenáři přiblížit jak textem, tak experimenty, které tyto vlastnosti znázorňují. Pokusy jsme se snažili provádět tak, aby byly pro čtenáře názorné a dobře pochopitelné a zároveň aby si je mohl skoro každý vyzkoušet sám.

V této práci jsme chtěli hlavně poukázat na výjimečnost vody, snažili jsme se, aby každý, kdo tuto práci bude číst, už nemohl říct, že voda je obyčejná. Voda je totiž klíčový element života, život bez ní by nebyl možný. Vodu nemůžeme považovat za samozřejmost, vodu je třeba chránit, neboť pokud tak neučiníme, přijde doba, kdy místo o ropu budeme bojovat o vodu a voda bude nad zlato.

Další část práce je věnována výskytu vody na naší planetě a částečně jsme zde poukázali i na ekologické problémy.

V práci se snad podařilo celkem srozumitelně a přehledně zpracovat nejdůležitější vlastnosti vody, doufáme, že přečtení této práce povede každého k zamyšlení nad touto problematikou a dá mu dostatečný teoretický základ k dalšímu studiu vody.

6. Použitá literatura

1. ANTONČJENKO, V. J. *Fyzika vody*. 3. vydání. Kyjev: Naukova dumka, 1986. 126.
2. BERGER, J. *Ekologie-učebnice pro gymnázia a střední odborné školy*. 1.vydání. České Budějovice: KOPP, 1999. 197 s. ISBN 80-7232-013-0
3. BOJKOVSKÝ, M. *Termodynamika- Vodíková vazba*[online]. c2009, poslední revize 8. 3. 2010 [cit.2010-03-10]. Dostupné z: < http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/Obrázky/vodikova_vazba_obrazky/vodikova_vazba_2.jpg&imgrefurl=http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/vodikova_vazba.html&h=517&w=553&sz=60&tbnid=BUIj3qYOCfeIZM:&tbnh=124&tbnw=133&prev=/images%3Fq%3Dobrázky%25A1zky%2Bmolekuly%2Bvody&usg=__UDuDnFoA30wwGajXbQh_41XcfjA=&ei=1VSVS63wD4XkmgPI58CICw&sa=X&oi=image_result&resnum=2&ct=image&ved=0CBEQ9QEwAQ >
4. BROŽ, J. *Základy fyzikálních měření 1*. 1.vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1967. 524 s.
5. DANEČEK, P. *Co zmrzne dříve: teplá voda nebo studená?*[online]. c2002, poslední revize 17.3.2010[cit.2010-03-10]. Dostupné z:< <http://www.vesmir.cz/files/file/fid/1578/aid/2449> >
6. DOLEŽAL, E. - POLLAK, T. *Vlastnosti sněhu* [online]. c2008, poslední revize 28. 2. 2008 [cit.2010-02-27]. Dostupné z: <<http://ekologie.upol.cz/ku/zhoek/kurz2004/vlastnosti.pdf> >.
7. HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika část 2*. 1.vydání. Brno: Vitium, 2000. 246s. ISBN 80-214-1868-0
8. JURSIK, F. *Anorganická chemie nekovů*. 1.vydání. Praha: VŠCHT, 2001. 228 s. ISBN 80-7080-417-3
9. KUČERA, J. *Voda má 66 anomálií. Vědci začali odhalovat jejich příčiny*[online]. c2009, poslední revize 12. 9. 2009 [cit. 2009-12-29]. Dostupné z: < http://technet.idnes.cz/voda-ma-66-anomalii-vedci-zacali-odhalovat-jejich-priciny-pjn-/tec_tecnika.asp?c=A090911_135558_tec_tecnika_mbo >
10. MÁDR, V.-KNEJZLÍK, J.- KOPEČNÝ, J.-NOVOTNÝ, I. *Fyzikální měření*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1991. 304 s. ISBN 80-03-00266-4
11. MIKULČÁK, J.-KLIMEŠ, B. - ŠIROKÝ, J.- ŠŮLA, V.-ZEMÁNEK, F. *Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 3.vydání. Praha: Prometheus, 2005. 206 s. ISBN 80-85849-84-4

12. *Obrázek sněhové vločky* [online]. c2009, poslední revize 8. 3. 2010 [cit.2010-03-16].
Dostupné z:<
http://images.google.cz/images?q=obr%C3%A1zek+sn%C4%Bhov%C3%A9+vlo%C4%8Dky&oe=utf-8&rls=org.mozilla:cs:official&client=firefox-a&um=1&ie=UTF-8&ei=1SuVS4i2JYiCnQP58yZCw&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=1&ved=0CBUQsAQwAA >
13. PITTER, P. *Hydrochemie*. 3. vydání. Praha:VŠCHT, 1999. 568 s. ISBN 80-7080-340-1
14. PLECHÁČ, V. *Voda problém současnosti a budoucnosti*. 1.vydání.Praha: Svoboda, 1989.332 s. ISBN 80-205-0096-0.
15. *Podzemní voda* [online]. c1999, poslední revize 5. 3. 2010 [cit.2010-03-10].
Dostupné z:< http://cs.wikipedia.org/wiki/Podzemn%C3%AD_voda#Formy>.
16. POSTLETHWAIT, J.H. *Vodíková(hydrogenová) vazba a její vlastnosti* [online]. c2006, poslední revize 10.2.2010 [cit.2010.03.03]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/hydrog_vaz.htm>.
17. *Priessnitzovy léčebné lázně a.s.* [online]. c2006, poslední revize 3. 3. 2010 [cit.2010-03-04]. Dostupné z: <
http://www.priessnitz.cz/article.php?content=priessnitz_menu&id=5 > .
18. ŘÍHA, J. *Voda a společnost*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1987. 338s
19. *Sněhová vločka, vznik vloček* [online]. c2004, poslední revize 10.3.2010 [cit.2010-03-10]. Dostupné z:< <http://www.xsten.net/meteo/snehove-vlocky/>>
20. *Soubor:Water molecule dimensions.svg* [online]. c2008, poslední revize 8. 3. 2010 [cit.2010-03-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Water_molecule_dimensions.svg>.
21. *Sublimace* [online]. c2009, poslední revize 3. 3. 2010 [cit. 4.3.2010]. Dostupné z: <<http://fyzmatik.pise.cz/98608-sublimace.html>>.
22. *Světový den vody* [online]. c2007, poslední revize 19. 3. 2007 [cit.2010-03-16].
Dostupné z: <http://www.ovak.cz/files_for_web/spol_pr_tisk_36-1-1.pdf>.
23. SVOBODA, E. a kol. *Přehled středoškolské fyziky*. 2. vydání. Praha: Prometheus, 1996. 497 s. ISBN 80-7196-006-3

24. ŠOURKOVÁ, P. *Priessnitzovy obklady- jak pomáhají* [online]. c2009, poslední revize 3.3.2010 [cit.2010-03-03]. Dostupné z:
<<http://www.zdrave.cz/magazin/relaxace-a-zdravi-9/priessnitzovy-obklady-248/>>.
25. TUL,KCH.*Rovnováhy v roztocích elektrolytu*[online].c2009, poslední revize 19.3.2010[cit.2010-03-11].Dostupné z:
<<http://www.fp.tul.cz/kch/texty/index.php?dir=ft%2Fprednasky%2F>>
26. *Voda* [online].c1999, poslední revize 6. 3. 2010[cit.2010-03-10]. Dostupné z:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>>.